

# Suomen maalajien ominaisuuksia

Nanna Ronkainen





# Suomen maalajien ominaisuuksia

**Nanna Ronkainen**

Helsinki 2012

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS



S Y K E

SUOMEN YMPÄRISTÖ 2 | 2012

Suomen ympäristökeskus (SYKE)

Taitto: Ritva Koskinen

Kansikuva: Patopohjan rakentamista

Julkaisu on saatavana ainoastaan internetistä:  
[www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut)

ISBN 978-952-11-3975-8 (PDF)  
ISSN 1796-1637 (verkkokj.)

## ESIPUHE

Tämä julkaisu on valmisteltu Suomen ympäristökeskuksessa (SYKE) vuosina 2010-2011. Julkaisussa käytettyä aineistoa on kuitenkin kerätty jo vuosien 1962-2001 aikana maataloushallituksessa, vesi- ja ympäristöhallituksessa ja nykyisessä Suomen ympäristökeskuksessa. Tämän huomattavan laajan aineiston parissa on työskennelty paljon, mutta tuloksia ei ole julkaistu aikaisemmin. Alkuperäisessä aineistossa näytteitä on jopa 19692, mutta näistä kaikista ei ole tallennettu riittävästi tietoja käsittelyä varten. Tähän julkaisuun on valikoitu alkuperäisestä aineistosta sellaiset näytteet, joista on tutkittu ainakin lajite- ja vesipitoisuudet.

Tämä raportti on tarkoitettu avuksi ja ohjeeksi Suomen maalajien ominaisuuksia tutkimuksissaan tai projekteissaan tarvitseville tutkijoille ja konsulteille, tekniseen opetukseen osallistuville opettajille ja opiskelijoille sekä opinnäytetöiden tekijöille.

Aineiston näytteitä on kerätty ja käsitelty jo 1960-luvulta lähtien, joten julkaisun valmistumista on edeltänyt melkoinen määrä taustatyötä, joka on jakaantunut usealle vuosikymmenelle. Näytteiden keräämiseen, laboratoriomäärittelyyn ja tulosten kirjaamiseen ja käsittelyyn on osallistunut suuri joukko henkilöitä maataloushallituksessa, vesi- ja ympäristöhallituksessa ja Suomen ympäristökeskuksessa. Aineiston tilastollisessa käsittelyssä alustavaa työtä ovat tehneet Tuuli Saari ja Anne Leivo.

Raportin valmisteluvaiheessa arvokkaita kommentteja työhön ovat antaneet mm. Kauko Kujala, Oulun yliopisto; Risto Kuusiniemi, Suomen ympäristökeskus ja Jouko Saarela, Suomen ympäristökeskus. Aineiston lopullinen käsittely ja julkaisun kirjoittaminen on tehty Maa- ja vesiteknikan tuki ry:n rahoituksella sekä osittain Oulun yliopiston vesi- ja geoympäristötekniikan laboratorion rahoituksella. Julkaisun kirjoitustyön ja aineiston tilastollisen käsittelyn julkaisussa esitettyyn muotoon on tehnyt Nanna Ronkainen.



## SISÄLLYS

<b>Esipuhe</b> .....	3
<b>I Johdanto</b> .....	7
<b>2 Suomen maalajit</b> .....	8
2.1 Maalajien synty ja kehitys .....	8
2.2 Geotekninen maalajiluokitus .....	9
2.2.1 Maalajiryhmät ja kivennäismaalajien lajitteet .....	9
2.2.2 Maalajien nimeäminen .....	10
2.2.3 Maalajien kuvaukset .....	10
2.2.4 Maalajien lisänimet .....	11
2.3 Rakennustekninen maalajiluokitus .....	11
2.4 EN ISO 14688-2 -luokitus .....	12
<b>3 Aineiston maaperänäytteet</b> .....	14
3.1 Näytteiden määrä .....	14
3.2 Käsiteltävät maalajit .....	16
3.3 Näytteiden keräämismenetelmät .....	17
<b>4 Laboratoriomääritysten tulokset</b> .....	19
4.1 Tulosten käsittelymenetelmät .....	19
4.2 Käsiteltävät ominaisuudet .....	20
4.3 Rakeisuus .....	22
4.4 Vesipitoisuus .....	23
4.5 Tilavuuspaino .....	29
4.6 Tiheys .....	33
4.7 Vedenläpäisevyys .....	36
4.8 Plastisuusominaisuudet .....	37
4.8.1 Juoksuraja ja kieritysraja .....	38
4.8.2 Plastisuusluku .....	40
4.9 Hienousluku .....	41
4.10 Suljettu leikkauslujuus .....	42
4.11 Sensitiivisyys .....	45
<b>5 Ominaisuuksien keskinäinen riippuvuus</b> .....	48
5.1 Savipitoisuus .....	49
5.2 Vesipitoisuus .....	50
5.3 Hienousluku .....	51
<b>6 Johtopäätökset</b> .....	53
<b>Lähteet</b> .....	54
<b>Kuvailulehdet</b> .....	55





# 1 Johdanto

Maataloushallituksen sekä myöhemmin vesi- ja ympäristöhallituksen ja Suomen ympäristökeskuksen toimesta on vuosien 1962-2001 aikana kerätty maaperätutkimusten yhteydessä erittäin merkittävä määrä näytteitä Suomen maaperästä. Aineiston keräämiseen käytetyt tutkimukset ovat olleet pitkäaikaisia ja kalliita, mutta tuloksia ei ole ennen tätä vielä julkaistu. Näytteet on kerätty ympäri Suomea ja näytteiden ominaisuuksia on määritetty pääasiassa vuonna 1953 vesiteknillisen tutkimustoimiston yhteyteen perustetussa maalaboratoriossa. Maaperänäytteitä kerättiin maataloushallituksessa merkittävä määrä myös 1950-luvulla. Näistä määritetyistä geoteknisistä tuloksista Airaksinen & Korhonen (1961) ovat raportoineet vuonna 1961.

Tämän raportin työstämisen tavoitteena oli saada julkaistavaan muotoon ja näin yleishyödylliseen käyttöön vuosina 1962-2001 kerätyn oleva laaja aineiston tulokset, jossa on laajasti sekä hieno- että karkearakeisten maalajien sekä turve-, lieju- ja moreeninäytteiden ominaisuuksia. Julkaisussa esitetään eri maalajien vesipitoisuus, tilavuuspaino, tiheys, vedenläpäisevyys, hienousluku, juoksu- ja kieritysraja, plastisuusluku, leikkauslujuus ja sensitiivisyys. Tutkimuksessa selvitetään voiko näytteiden tiettyjen ominaisuuksien perusteella arvioida muita niiden ominaisuuksia, sekä miten nämä korreloivat keskenään. Näiden ominaisuuksien vaihtelurajojen selvittämiseksi maalaboratorion määritysten tulokset on käsitelty tilastollisesti SAS-ohjelmalla.

Laboratoriotulokset on parin viimeisen vuosikymmenen aikana syötetty paperilomakkeilta sähköiseen muotoon SAS-tiedostoihin (.sas7bdat). Useimmista maanäytteistä ei ole määritetty kaikkia ominaisuuksia, mutta aineiston laajuuden vuoksi useimmat ominaisuudet on silti määritetty tuhansista näytteistä. Jokaisesta näytteestä on tiedossa vuosi ja lähes jokaisesta näytteenottokunta ja -syvyys, joten maalajien lisäksi ominaisuuksia olisi mahdollista luokitella myös näiden perusteella.

Alkuperäisessä aineistossa näytteitä oli peräti 19692. Näistä kaikista ei kuitenkaan ole sähköiseen muotoon tallennetussa aineistossa merkitty mitään määritettyjä ominaisuuksia. Tätä julkaisua varten käsiteltäväksi on otettu kaikki näytteet, joista on rakeisuuskäyrän avulla tutkittu maalajitepitoisuudet. Tuloksien luotettavuuden takaamiseksi ominaisuudet esitetään vain niistä maalajeista, joista ainakin vesipitoisuus on määritetty vähintään 30 näytteestä.

## 2 Suomen maalajit

### 2.1

#### Maalajien synty ja kehitys

Suomen maaperä on geologisesti hyvin nuori. Merkittävimmän maaperän muodostumiseen ovat vaikuttaneet edellinen jääkausi ja sen jälkeiset olosuhteet kuten jään paine ja maan kohoaminen. Jään paksuuden arvioidaan olleen Suomessa jääkaudella jopa 2-3 kilometriä. Jää myös liukui alustaa pitkin ja irrotti kallioperän rikkonaisista osista kiviainesta, joka sekoittui jääkautta edeltäneen ajan maalajeihin. Niinpä nykyinen maalajipeite on pääosin peräisin jääkaudelta ja sen jälkeiseltä ajalta. (Isotalo ym. 1982)

Jääkauden loppuvaiheessa suurin osa Suomea oli veden peitossa. Vain Lappi, itäinen rajaseutu ja muun Suomen korkeimmat alueet olivat kuivina. Jäätikön perääntyminen ja Itämeren kehitys aiheuttivat sen, etteivät kaikki alueet olleet samaan aikaan veden peitossa. Itämeren kehitys on vaikuttanut erityisesti hienorakeisten maalajien syntyyn ja levinneisyyteen. (Isotalo ym. 1982)

Itämeren historian vanhinta vaihetta kutsutaan Baltian jääjärveksi (8000 eKr.). Tuolloin vesi järvessä oli makeaa ja järven pohjaan muodostui kerrallisia lustosavia ja -silttejä. Kun jäänreuna pysähtyi Salpausselälle, avautui salmiyhteys Baltian jääjärvestä Keski-Ruotsin kautta Atlantille. Tällöin jääjärvi muuttui Yoldiamereksi (n. 7800 eKr.) ja vesi muuttui vähitellen suolaisemmaksi. Yoldiasavet ovat lähes tasarakeisia tai heikosti kerrallisia savia. (Isotalo ym. 1982, Sauramo 1940)

Maankohoamisen seurauksena salmiyhteys Ruotsin kautta valtameren katkesi aikanaan ja Yoldiamerestä tuli Ancyclusjärvi (n. 6500 eKr.), johon kerrostui tasarakeista savea. Mannerjäätikön sulaessa edelleen voimakkaasti valtamerien pinta nousi. Vuoden 5500 eKr. aikoihin vesi tunkeutui valtamerestä Tanskan salmien kautta Itämereen. Näin syntyi Litorina-meri, jossa vesi oli nykyistä Itämerta suolaisempaa ja ilmasto nykyistä lämpimämpää. Litorinakaudella kerrostuneet savet sisältävät yleensä runsaasti humusta (liejusavet). Kauden jälkeen ilmasto kylmeni, mikä aiheutti monin paikoin soistumista. (Isotalo ym. 1982, Sauramo 1940)

Suomen pinta-alasta lähes 60 % on pinnalta moreenipeitteistä ja useilla muillakin alueilla on moreenia muiden maalajikerrostumien alla. Moreenikerrostumat ovat muodostuneet jääkaudella mannerjäätikön kallioperästä irrottamasta ja jauhamasta kiviaineksesta, joka sekoittui kallion pinnalla olleisiin maalajeihin. Lähes puolta Suomen maa-alasta peittää pohjamoreeni. Se on yleinen myös soiden ja savikoiden alla. Jääkausi höyläsi vähintään seitsemän metriä paksun kerroksen Suomen aiemmasta maaperästä ja pintakalliosta ja suurimmasta osasta syntyneestä aineesta tuli pohjamoreenia. Pintamoreeni ei ole ollut jään puristuksen alla tiivistymässä, vaan liikkunut jäätikön yläosissa ja laskeutunut pohjamoreenin päälle jäätikön sulaessa. Moreenimuodostumien keskipaksuus koko Suomessa on noin 4 m. Rannikoilla muodostumat ovat keskimääräistä ohuempia. (Isotalo ym. 1982, Sauramo 1940)

Suomessa maapeitteen yleinen rakenne rannikkoseudulla on kerrostunut alustana olevalle kallioperälle. Ensimmäiseksi kallion päällä on mannerjäätikön kasaama moreeni tai sen sulamisvesien kerrostama sora ja hiekka harjuina. Sen päälle on muodostunut muinaisten vesien pohjalla eri aikoina laskeutunut savi ja siltti. Paikoitellen nämä ovat peittyneet myöhemmin liejuun ja turpeeseen, kun rannikko on jäätiköstä vapauduttuaan joutunut veden peittoon ja sen jälkeen maatunut. (Sauramo 1940)

## 2.2

## Geotekninen maalajiluokitus

### 2.2.1

#### Maalajiryhmät ja kivennäismaalajien lajitteet

Geotekninen maalajiluokitus on kehitetty kaivuluokitustutkimuksen yhteydessä vuonna 1971 ja se otettiin käyttöön vuonna 1974 muodostamaan rakennustekniikkaa palveleva maaluokitusjärjestelmä ensisijaisesti Suomen olosuhteisiin. Luokituksen perustana on ensisijaisesti maalajien geologinen syntytyyppi. (Rantamäki ym. 1982, Korhonen ym. 1974)

Geoteknisessä maalajiluokituksessa maalajit jaetaan geologisen syntytyypin, humuspitoisuuden ja raakoostumuksen perusteella ensin maalajiryhmiin: eloperäiset, hienorakeiset ja karkearakeiset maalajit sekä moreenimaalajit. Maalajiryhmät ja niiden ominaisuudet on esitetty taulukossa 1 ja kivennäismaalajien lajitteet ja niiden raekoot on esitetty taulukossa 2. Taulukossa mainitut lajittuneet maalajit tarkoittavat pääasiassa veden huuhtelemia ja lajittelemia maalajeja, joissa on yleensä vallitsevana yksi tai kaksi päälaajitetta. Moreenit taas ovat lajittumattomia eli mikään lajite ei ole selvästi vallitseva ja vaan sisältävät useita eri lajitteita, usein siltistä soraan asti. (Korhonen ym. 1974)

Taulukko 1. Maalajiryhmät geoteknisessä maalajiluokituksessa. (Korhonen ym. 1974)

Maalajiryhmä	Lyhennys	Ominaisuudet
Eloperäiset maalajit	E	Maalaji koostuu pääasiallisesti eloperäisestä aineksesta tai sisältää eloperäistä ainesta > 20 paino-%
Hienorakeiset maalajit	H	Lajittuneet hienorakeiset maalajit Hienoainepitoisuus ( $\leq 0,06$ mm) $\geq 50$ % Humuspitoisuus $\leq 20$ paino-%
Karkearakeiset maalajit	K	Lajittuneet karkearakeiset maalajit Hienoainepitoisuus < 50 %
Moreenimaalajit	M	Lajittumattomat, useita eri lajitteita sisältävät maalajit

Taulukko 2. Geotekninen maalajiluokitus. Kivennäismaalajien lajitteet. (Korhonen ym. 1974)

Maalaji	Lyhennys	Rakeiden läpimitta (mm)
Savi	Sa	$\leq 0,002$
Siltti	Si	$> 0,002 \dots 0,06$
Hiekka	Hk	$> 0,06 \dots 2,0$
Sora	Sr	$> 2,0 \dots 60,0$
Kivet	Ki	$> 60 \dots 600$
Lohkareet	Lo	$> 600$

### 2.2.2

## Maalajien nimeäminen

Kivennäismaalajien nimeämisessä käytetään rakeisuuskäyrää, jonka avulla voidaan päätellä paljon maa-aineen ominaisuuksista. Rakeisuuskäyrä ilmaisee, miten suuri osuus maalajissa on tiettyä raekokoa pienempiä rakeita eli miten suuri on kyseistä raekokoa vastaavan seulan läpäisyprosentti. Siitä nähdään myös, mikä osuus aineesta jää kahden valitun raekoon väliin, ja kuinka monta painoprosenttia maa-aineksessa on tarkasteltua raekokoa karkeampia rakeita. (Jääskeläinen 2009, Rantamäki ym. 1979)

Savi, siltti, hiekka ja sora, nimetään 64 mm ja pienempien seulojen läpäisseen aineksen perusteella. Näistä siltti, hiekka ja sora nimetään  $d_{50}$ -menetelmällä eli maalaji saa nimen sen perusteella, minkä pääajitteen alueella rakeisuuskäyrän läpäisyprosenttia 50 vastaava raekoko sijaitsee. Maalaji nimetään saveksi kuitenkin jos jos 30 % aineesta on savilajitteen alueella, koska savi antaa omat piirteensä aineelle jo tällä määrällä. Lajitetta, jossa on 30-50 % savilajitetta, kutsutaan laihaksi saveksi (laSa). Jos savea on yli puolet, maalajite on lihavaa savea (liSa). Kaikilla kivennäismaalajeilla tehokas raekoko on 10 % läpäisyä vastaava raekoko, joka merkitään  $d_{10}$ . (Jääskeläinen 2009)

Moreeni sisältää eri lajitteita siltistä soraan ja usein myös kiviä tai lohkarkeit. Moreenien maalajite aloitetaan määrittämään kuten muutkin maalajit  $d_{50}$ -menetelmällä. Jos tulokseksi saadaan sora, hiekka tai siltti, saattaa maalaji kuitenkin olla moreeni. Kyseessä on moreeni, jos maalajitteessa on yhtä aikaa vähintään 5 % soraa ja vähintään 5 % silttiä. Keskimääräisen raekoon perusteella määräytyy, onko maalajite sora-, hiekka- vai silttimoreeni. (Jääskeläinen 2009, Korhonen ym. 1974) Taulukossa 3 on esitetty maalajien lajitepitoisuudet geoteknisessä maalajiluokituksessa.

Taulukko 3. Geotekninen maalajiluokitus. Maalajit. (Korhonen ym. 1974)

Maalajiryhmä	Maalaji	Lyhennys	Lajitepitoisuus, paino-%			Raekoko $d_{50}$ , mm
			Savi	Hienoaines	Sora	
Eloperäiset maalajit	Turve	Tv				
	Lieju	Lj				
Hienorakeiset maalajit	Savi	Sa	$\geq 30$			
	Siltti	Si	$< 30$	$\geq 50$	$< 5$	$\leq 0,06$
Karkearakeiset maalajit	Hiekka	Hk		$< 50$	$\leq 50$	$> 0,06...2$
	Sora	Sr		$< 5$	$> 50$	$> 2...60$
Moreenimaalajit	Silttimoreeni	SiMr		$\geq 50$	$\geq 5$	$\leq 0,06$
	Hiekkamoreeni	HkMr		$5...50$	$5...50$	$> 0,06...2$
	Soramoreeni	SrMr		$\geq 5$	$> 50$	$> 2$

### 2.2.3

## Maalajien kuvaukset

Eloperäisiä maalajeja ovat turve ja lieju. Turve on muodostunut maatumisasteeltaan vaihtelevista kasvien ja kasviryhmiä jätteistä. Liejun pääaineksena on mineraaliaines ja humuspitoisuus on suurempi kuin 20 %. Lieju sisältää eloperäistä ainesta ja hienoa kiviainesta, silttiä ja savea. Lieju syntyy aikoinaan tynien vesialtaiden pohjille, kun sinne liettyi samaan aikaan kasvinjätteitä ja hienoa kiviainesta. Mineraaliaines on yleensä pääaineksena liejussa. Liejulle on tyypillistä, että se on lujuudeltaan heikkoa, painuu voimakkaasti kuormitettaessa ja kutistuu kuivana merkittävästi. (Jääskeläinen 2009, Korhonen ym. 1974)

Saveksi määritellään kooltaan alle 0,002 mm rakeet. Nämä hiukkaset ovat ohuita levyjä ja muodostavat veteen ns. kolloidisen liuoksen eli vedessä on pieniä hiukkasia, kuitenkin suurempia kuin varsinaisissa liuoksissa esiintyvät ionit. Savi ja siltti ovat routivia aineita, mutta puhtaat hiekka- ja soralajitteet ovat routimattomia. (Jääskeläinen 2009)

Siltin raekoko on välillä 0,002-0,06 mm. Siltin raekokoalueella rakeiden muoto muuttuu levymäisestä vakioläpimittaisiin rakeisiin. Lujuusominaisuuksiensa puolesta siltti on välimuoto saven ja karkearakeisten maalajien välillä. Siltissä esiintyy saven tapaan tartuntavoimien aiheuttamaa koheesiota, mutta siltillä on lisäksi kitkaominaisuuksiakin. (Jääskeläinen 2009)

Hiekassa rakeiden välisillä tartuntavoimat eivät enää vaikuta, vaan leikkauslujuus määräytyy pelkästään kitkan avulla. Kosketuskohdissa rakeet ainoastaan koskettavat toisiaan ja tukeutuvat toisiinsa, mutta eivät pidä kiinni toisistaan. Geoteknisen maallajiluokituksen mukaan kitkamaalajeja, joilla leikkauslujuus muodostuu pääasiassa rakeiden välisestä kitkasta, ovat karkearakeiset maalajit eli mm. hiekka, sora ja kivet. Tällaiset maalajit sisältävät enemmän kuin 50 % läpimitaltaan 0,06 mm karkeampia rakeita. Hiekka on raekooltaan välillä 0,06-2 mm ja sora (Sr) välillä 2-60 mm. Yleensä hiekka ja sora ovat peseytyneitä ja puhtaita maalajeja, joissa on vain vähän hienoainesta. Hiekka- ja sorarakeet ovat pyörityneitä. (Jääskeläinen 2009, Valkeisenmäki 1973)

Moreenit ovat syntyneet enimmäkseen niistä kallion osista ja entisistä maalajeista, jotka jäivät jään alle sen höylätessä ja ruhjoessa Suomen maata jääkaudella. Osa moreeneista syntyi, kun jäätikkö sulii paikalleen ja sen sisällä ollut maa-aine laskeutui ilman virtauksia. Tämän vuoksi moreenit eivät lajittuneet ja ne poikkeavat niin paljon lajittuneista maa-aineista, että ne luokitellaan Suomessa erikseen. Moreeneissa on yleensä hienoainesta sen verran, että ne ovat routivia ja heikosti vettä läpäiseviä. Maalaji, joka on syntyvaltaltaan moreenia, voidaan yleensä erottaa muista maalajeista jo silmävaraisella tarkastelulla. (Jääskeläinen 2009, Korhonen ym. 1974, Rantamäki ym. 1982)

#### 2.2.4

### Maalajien lisänimet

Maalajinimistö ei useinkaan riitä kuvaamaan maalajivalikoimaa riittävästi. Sen vuoksi maalajeille voidaan antaa lisänimi tarkemmin kuvaamaan maalajin koostumusta. Maalajille annetaan lisänimeksi sorainen (sr), hiekkainen (hk) tai silttinen (si), jos kyseistä lajitetta on maalajin nimen antavan lajitteen ohella yli 30 %. Lisänimiä voi olla vain yksi, joten jos edellä mainitun säännön mukaan olisi kaksi, valitaan niistä hienompirakeinen vaihtoehto. Yli 30 % savipitoisuus tekee aineesta jo laiha saven, joten lisänimi savinen (sa) annetaan, jos savea on 10-30 %. (Jääskeläinen 2009, Rantamäki ym. 1982)

Eloperäisissä maalajeissa humuspitoisuus on yli 6 painoprosenttia. Jos humuspitoisuus on 2-6 %, maalaji saa lisänimen liejuinen (lj). Humuspitoisuuden ollessa 6-20 % päänimeksi tulee lieju (Lj) ja kivennäisaine muuttuu lisänimeksi (esim. silttinen lieju, siLj). Yli 20 % humuspitoisuudella maalajin nimitys on pelkkä lieju. (Rantamäki ym. 1982)

#### 2.3

### Rakennustekninen maalajiluokitus

Ennen geoteknistä maalajiluokitusta Suomessa oli käytössä rakennustekninen maalajiluokitus. Siinä nykyisen siltin tilalla olivat hiesu ja hietä. Moreenilajeina olivat myös hiesumoreeni ja hietamoreeni. Vaikka rakennusteknistä maalajiluokitusta ei

enää käytetä, esimerkiksi maatalousaloilla nimitykset hiesu ja hieta ovat edelleen käytössä. (Jääskeläinen 2009, Rantamäki ym. 1982)

Taulukossa 4 on esitetty, miten maalajit jaetaan rakeisuuden perusteella rakennusteknisessä ja geoteknisessä maalajiluokituksessa. Taulukosta nähdään suoraan maalajiluokitusten maalajite-erot. Hiesu vastasi hienoa silttiä ja hieta karkeaa silttiä ja hienoa hiekkaa. Lisäksi nykyisestä sorasta suurimmat rakeet luokiteltiin rakennusteknisessä maalajiluokituksessa jo kiviin ja geoteknisen luokituksen kivet lohkareiksi. (Rantamäki ym. 1982)

Tässä raportissa käytettyä aineistoa luokiteltiin eri maalajeiksi rakennusteknisen maalajiluokituksen mukaan aina vuoteen 1973 asti. Vuodesta 1974 lähtien maalajit on määritetty geoteknisen maalajiluokituksen mukaisesti. Myöhemmin aineistoa käsiteltäessä myös vanhat maalajit on lajitepitoisuuksien avulla muutettu geoteknisen maalajiluokituksen mukaisiksi.

Taulukko 4. Kivennäismaalajien lajitteiden rakeisuus geoteknisessä ja rakennusteknisessä maalajiluokituksessa.

Geotekninen maalajiluokitus	Rakeiden läpimitta (mm)	Rakennustekninen maalajiluokitus
Savi	< 0,002	Savi
Siltti	0,002-0,02	Hiesu
	0,02-0,06	Hieta
Hiekka	0,06-0,2	
	0,2-2	Hiekka
Sora	2-20	Sora
	20-60	Kivet
Kivet	60-200	Lohkareet
Lohkareet	> 600	

## 2.4

### EN ISO 14688-2 -luokitus

Suomessa käytetyssä geoteknisessä maalajiluokituksessa on samat raekokorajat ja nimet maalajeille kuin laajalti muuallakin maailmassa. Vielä yhtenäisemmäksi maalajiluokitus muuttuu, kun Suomessakin siirrytään vähitellen Euroopan Unionin jäsenmaiden yhteiseen Eurokoodin (SFS EN 1997-2) mukaiseen EN ISO 14688-2 -luokitukseen. Suurin ero geoteknisen maalajiluokituksen ja uuden EN ISO 14688-2 -luokituksen välillä on, ettei uudessa luokituksessa tunneta ollenkaan moreenia. Lisäksi erona on, että hienorakeisten maalajien luokituksessa käytetään plastisuusominaisuuksia.

Geoteknisen maaluokituksen menetelmä nimetä maalajit rakeisuuskäyrältä korvataan EN ISO 14688-2 -luokituksessa kolmiolla, josta katsotaan lajitepitoisuuksien perusteella nimi maalajille. Maalajitteet jaetaan kuitenkin lähes samoilla raesuuruuksilla kuin geoteknisessä maalajiluokituksessa. Taulukossa 5 on listattu Eurokoodin mukaiset maalajitteiden jaot. ISO-standardien tullessa voimaan myös maalajien ominaisuuksien laboratoriokokeet pyritään normittamaan. Useiden geoteknisten ja luokitusominaisuuksien suorittamisesta ilmestyi suomennetut standardit samalla kun uusi maalajiluokitus suomennettiin (Suomen standardoimisliitto 2007).

Taulukko 5. Raekokolajitteet (SFS-EN ISO 14688-1 2007).

Maalajitteet	Alalajitteet	Tunnukset	Raekoot (mm)
Hyvin karkea maa	Suuret lohkareet	LBo	> 630
	Lohkareet	Bo	> 200...630
	Kivet	Co	> 63...200
Karkea maa	Sora	Gr	> 2,0...63
	Karkea sora	CGr	> 20...63
	Keskisora	MGr	> 6,3...20
	Hieno sora	FGr	> 2,0...6,3
	Hiekka	Sa	> 0,063...2,0
	Karkea hiekka	CSa	> 0,63...2
	Keskihiekk	MSa	> 0,2...0,63
	Hieno hiekka	FSa	> 0,063...0,2
Hieno maa	Siltti	Si	> 0,002...0,063
	Karkea siltti	CSi	> 0,02...0,063
	Keskisiltti	MSi	> 0,0063...0,02
	Hieno siltti	FSi	> 0,002...0,0063
	Savi	Cl	> 0,002

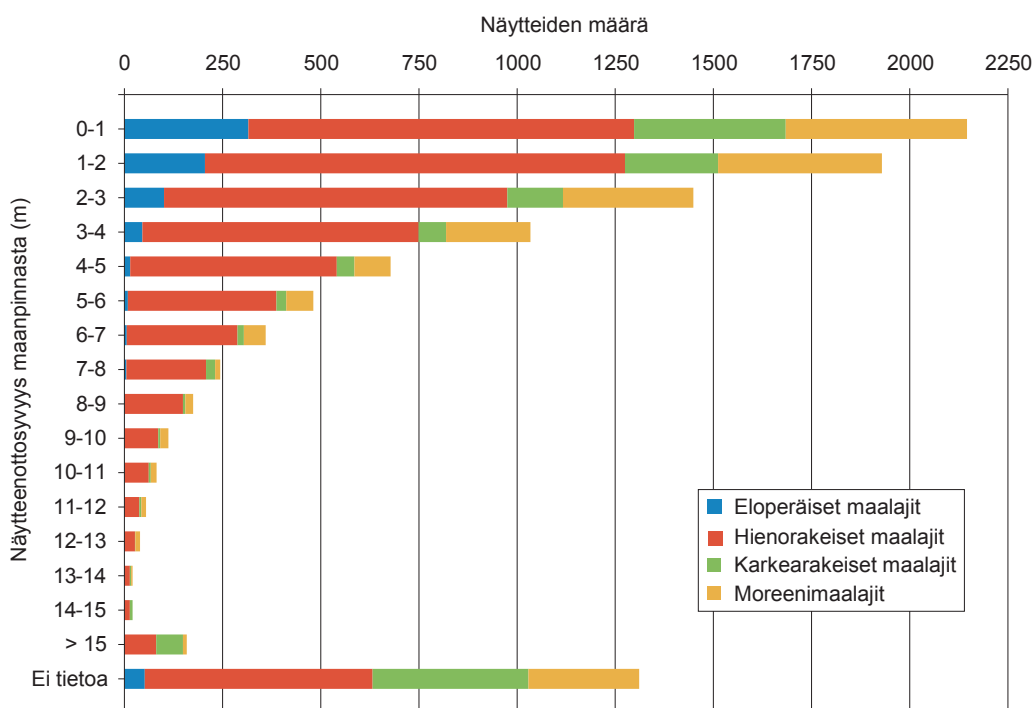
## 3 Aineiston maaperänäytteet

### 3.1

#### Näytteiden määrä

Aineiston maaperänäytteet on kerätty ympäri Suomea enimmäkseen maaperätutkimusten tai kuivatus- ja pengerrystöiden yhteydessä vuosina 1962-2001. Näytteet on otettu maasta enimmäkseen 0-15 metrin syvyydeltä. Alkuperäisestä, lähes 20 000 näytteen aineistosta on otettu tähän julkaisuun mukaan 10 297 näytettä. Sähköiseen muotoon 1990-luvulla tallennetussa aineistossa on joidenkin näytteiden kohdalla selviä puutteita. Osasta näytteistä ei ole tallennettu maalajia eikä rakeisuustietoja. Tällaiset näytteet on tulosten luotettavuuden lisäämiseksi jätetty aineiston käsittelyssä kokonaan huomioimatta.

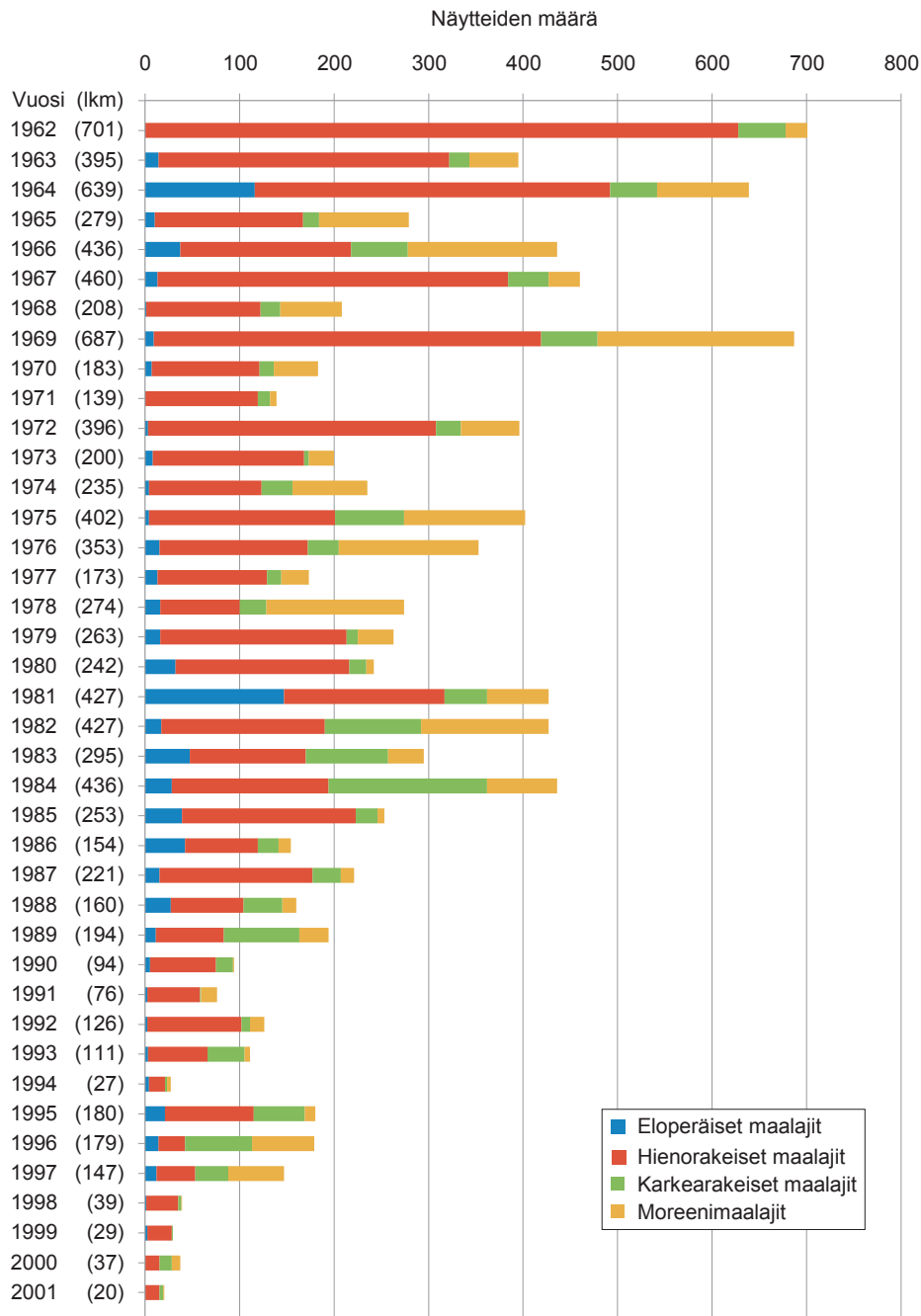
Alkuperäisessä tutkimusaineistossa on mukana enemmän maalajeja sekä useita ominaisuuksia, joita tähän julkaisuun ei ole otettu mukaan. Luotettavien kuvaajien piirtämiseksi on huomioitu alkuperäisestä aineistosta kunkin ominaisuuden kohdalla vain ne maalajit joista on vähintään 30 näytteestä määritetty kyseinen ominaisuus. Kuvissa 1, 2 ja 3 on esitetty maanäytteiden jakautuminen maalajiryhmittäin eri syvyyksille (kuva 1), vuosille (kuva 2) ja Suomen maakunnille (kuva 3).



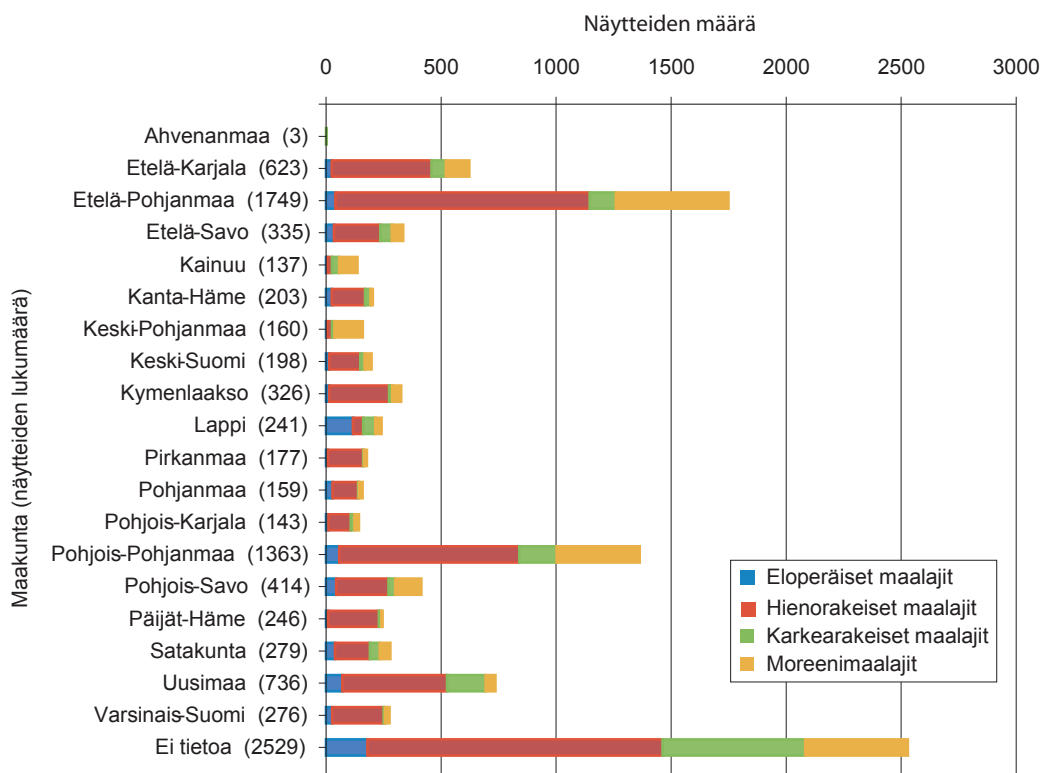
Kuva 1. Aineiston näytteiden määrä eri syvyyksiltä.



Suurin osa näytteistä on otettu läheltä maanpintaa. Noin 20 % näytteistä on kerätty alle metrin syvyydeltä ja puolet näytteistä on kerätty 0 - 3 metrin syvyydeltä. Kuten kuvasta 1 nähdään, syvemmälle mentäessä näytteiden määrä laskee vähitellen. Eloperäisiä maalajeja on kerätty korkeintaan viiden metrin syvyydeltä, sillä ne ovat Suomessa lähellä maanpintaa. Syvimmältä kerätyt näytteet on otettu 60 metrin syvyydestä. 1311 näytteestä ei ole merkitty näytteenottosyvyyttä.



Kuva 2. Aineiston näytteiden määrän jakautuminen vuosille 1962-2001.



Kuva 3. Aineiston näytteiden määrä eri maakunnista.

Kuvasta 3 nähdään, että näytteitä on kerätty kaikista Suomen maakunnista. Kaikista näytteistä ei ole tallennettu näytteenottopaikkakuntaa (2529 näytettä). Suurimpaan osaan näytteistä on kuitenkin merkitty kunta, josta se on kerätty. Yhteensä eri kuntia, joista näytteitä on kerätty, on aineistossa yli 200, myös nykyisen kuntatilanteen mukaan tarkasteltuna. Tarkkoja paikkakoordinaatteja näytteenottopaikkojen sijainnista ei ole tallennettu.

Maakunnista näytteitä on kerätty eniten Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalta. Yli sata näytettä on kerätty seuraavista kunnista (1.1.2010 kuntatilanteen mukaan): Enonkoski (115 näytettä), Enontekiö (117), Iitti (135), Kaustinen (109), Kiuruvesi (222), Kouvola (146), Kurikka (380), Lappeenranta (460), Lapua (256), Nivala (521), Nurmijärvi (116), Orimattila (122), Salo (111), Seinäjoki (774), Taivalkoski (164) ja Tuusula (125).

### 3.2

## Käsiteltävät maalajit

Käsitelty aineisto sisälsi yhteensä 29 eri maalajia. Tähän kuului maalajeja kaikista geoteknisen maalajiluokituksen maalajityhmistä. Näytteiden määrä maalajeittain vaihteli hyvin paljon. Eniten näytteitä oli vuosien aikana kerätty laihasta ja lihavasta savesta, savisesta siltistä, hiekasta sekä hiekkamoreenista. Taulukossa 6 on esitetty maalajiryhmittäin kaikki julkaisuun otetut maalajit sekä maalajien määrä käsitellyssä aineistossa.

Taulukko 6. Julkaisussa käsiteltävät maalajit.

Maalajiryhmä	Maalaji	Maalajin nimi	Maalajin lyhenne	Näytteiden määrä aineistossa
<b>Eloperäiset maalajit</b>	Turve	Turve	Tv	172
	Liejut	Lieju	Lj	400
		Savinen lieju	saLj	95
		Silttinen lieju	siLj	90
<b>Hienorakeiset maalajit</b>	Savet	Laiha savi	laSa	1322
		Liejuinen laiha savi	ljlaSa	125
		Liejuinen lihava savi	ljliSa	52
		Liejuinen savi	ljSa	93
		Lihava savi	liSa	1538
	Siltit	Hiekkainen siltti	hkSi	210
		Liejuinen savinen siltti	ljSaSi	183
		Liejuinen siltti	ljSi	95
		Savinen siltti	saSi	1857
		Siltti	Si	592
<b>Karkearakeiset maalajit</b>	Hiekat	Hiekka	Hk	779
		Humuksinen hiekka	huHk	46
		Silttinen hiekka	siHk	296
		Sorainen hiekka	srHk	95
	Sorat	Humuksinen sora	huSr	48
		Sora	Sr	177
<b>Moreenimaalajit</b>	Moreenit	Hiekkainen silttimoreeni	hkSiMr	105
		Hiekkamoreeni	HkMr	857
		Humuksinen hiekkamoreeni	huHkMr	30
		Savinen hiekkamoreeni	saHkMr	195

## 3.3

**Näytteiden keräämismenetelmät**

Maanäytteiden keräämiseen on käytetty monia eri menetelmiä. Suurin osa näytteistä on otettu 0-5 metrin syvyydeltä, kuten kuvasta 1 voidaan nähdä. Monista näytekuopista tai -rei'istä on otettu monta näytettä eri syvyyksiltä noin puolen metrin syvyysvälein.

Osa maanäytteistä on häiriintyneitä ja osa häiriintymättömiä. Häiriintyneissä näytteissä maa-aineksen sisäinen rakenne on särkynyt, mutta maan aineosat ovat kuitenkin tallessa alkuperäisessä suhteessa. Häiriintyneistä näytteistä voidaan määrittää rakeisuus ja humuspitoisuus sekä pohjavedenpinnan yläpuolisista näytteistä vesipitoisuus. Häiriintymätön näyte edustaa luonnontilaista maata, jossa myös rakenne on säilynyt ehjänä. Maan alkuperäinen jännitystila muuttuu kuitenkin välttämättä, kun maa-aines siirretään maasta laboratorioon määrittäksi. Tämän vuoksi laboratoriokokeissa voi olla pieniä virheitä verrattuna täysin luonnontilaiseen maahan.

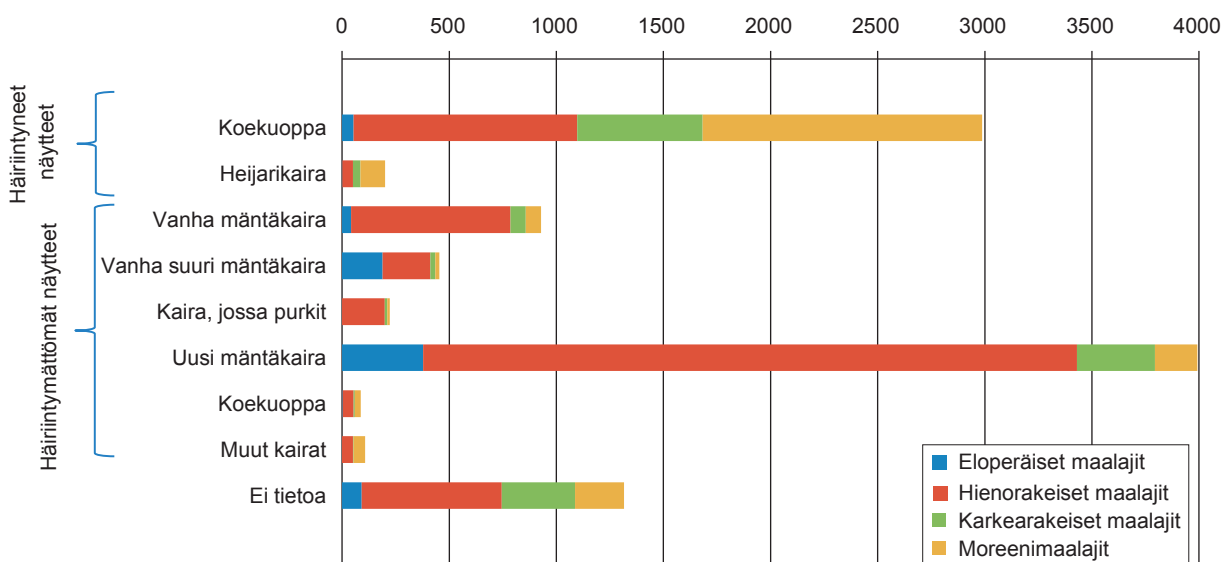
Häiriintyneet näytteet on kerätty joko koekuopasta muovipussiin tai heijarikairaamalla. Koekuopan kaivaminen on luotettavin näytteenottomenetelmä varsinkin kivisissä hiekka- ja soramaalajeissa. Yleensä koekuoppa voidaan kaivaa syvimmillään 3-4 m syvyyseksi. Maanäytteet otetaan kuopan kaivuluiskasta alas varistetusta aineksesta. Heijarikairan näytteenotin on lujarakenteinen ja samantyyppinen kuin mäntäkairassa. Mäntä liikkuu sylinterissä ruuvikierteillä siten, että näytteenottovaiheessa näyte työntyy sylinterin sisällä olevaan näytehylsyyn. Ylösnostovaiheessa näytteen ulosvalumisen estää hylsyn alapäässä oleva, vain sisäänpäin avautuva sulkija.

Häiriintymättömien näytteiden keräämismenetelmiä ovat olleet enimmäkseen erikokoiset möntäkairat tai muut kairat. Joitakin häiriintymättömiä näytteitä on kerätty myös koekuopasta, jolloin näytteet on otettu tiiviisti suljettaviin metallipurkkeihin painamalla purkkia maahan tai muotoilemalla terätyökalulla maakappale näytepurkin kokoiseksi. Useimmat häiriintymättömät näytteet on kerätty kuitenkin erilaisilla möntäkairoilla. Möntäkairassa on teräväreunainen sylinteri, jonka sylinterissä oleva mäntä avaa ja sulkee. Maahanpainamisvaiheessa lukittu mäntä sulkee sylinterin. Näytettä otettaessa männän lukitus avataan ja sylinteriosaa painetaan maahan, jolloin näyte pääsee työntymään näytehylsyyn. Näytteenotossa on käytetty seuraavanlaisia möntäkairoja:

- vanha möntäkaira ( $\phi$  42 m/m),
- vanha suuri möntäkaira ( $\phi$  60 m/m),
- kaira, jossa purkit sisällä ( $\phi$  42 m/m) ja
- uusi möntäkaira, pituus 63 cm ( $\phi$  60 m/m).

Kuvassa 4 on esitetty käytetyt näytteenottomenetelmät maalajiryhmittäin. Kaikkien näytteiden keräämismenetelmää ei ole tallennettu aineiston tietoihin (1316 näytteen keräämismenetelmä puuttuu). Varsinkin liejuisesta lihavasta savesta (ljliSa) sekä humuksisista maalajeista (huHk, huSr ja huHkMr) näytteenottomenetelmä on ilmoitettu vain harvoista näytteistä.

Kuten kuvasta 4 nähdään, eloperäiset maalajit on kerätty lähinnä suurella möntäkairalla ( $\phi$  60 m/m). Joitakin liejunäytteitä on otettu myös pienemmällä möntäkairalla ( $\phi$  42 m/m) ja silttistä ja savista liejua on kerätty myös koekuopista. Hienorakeisista maalajeista näytteitä on aineistossa selvästi eniten ja niitä on kerätty kaikilla käytössä olleilla näytteenottomenetelmillä. Suurin osa hienorakeisista maalajeista on kerätty suurella möntäkairalla ( $\phi$  60 m/m). Silttimaalajeista ja laihasta savesta on otettu myös häiriintyneitä näytteitä koekuopasta ja heijarikairalla. Karkearakeisten ja moreeni-maalajien näytteiden keräämiseen on käytetty enimmäkseen koekuoppaa, mutta hiekan, silttisen hiekan ja kaikkien hiekkamoreenien näytteitä on otettu runsaasti myös kairaamalla.



Kuva 4. Näytteiden keräämismenetelmät maalajeittain.

## 4 Laboratoriomäärittelysten tulokset

### 4.1

#### Tulosten käsittelymenetelmät

Maalajien ominaisuuksien vaihtelurajojen selvittämiseksi on vesiteknillisen tutkimustoimiston maalaboratoriossa vuosina 1962-2001 suoritettujen määrittelysten tulokset käsitelty tilastollisesti SAS-ohjelmalla. Laboratoriokokeissa saadut tulokset on tallennettu 1990-luvulla Suomen ympäristökeskuksessa SAS-datatiedostoihin (.sas7bdat-tiedostot). Ominaisuuksien riippuvuuden tutkiminen korrelaation avulla on tehty muuttamalla ensin sähköiset datatiedot excel-taulukkoiksi.

Laboratoriomäärittelysten tulokset on käsitelty SAS-ohjelmalla maalajeittain. Ohjelmalla on määritetty maalajien ominaisuuksien vaihteluväli, keskiarvo ja mediaani. Maalajit on käsitelty GEO-luokituksen mukaan, joten SAS on ohjelmoitu muuttamaan vuosien 1962-1973 rakennusteknisen maalajiluokituksen mukaan määritetyt maalajit vastaaviksi GEO-luokituksen maalajeiksi.

Laajassa aineistossa on ollut myös jonkin verran virheellisiä arvoja. Virheitä on saattanut tulla itse laboratoriomäärittelyssä tai tulosten kirjaamisessa. Tarkasteltaessa ja vertailtaessa laboratoriossa määritettyjä tuloksia on huomioitava virhemahdollisuudet mm. seuraavista syistä:

- laitteistot ovat olleet erilaisia ja kehittyneet vuosikymmenten aikana
- useat koemenetelmät sisältävät runsaasti käsityötä tai
- näytteiden kosteus ei ole jakautunut tasaisesti.

Tulokset on kirjattu ylös ensin laboratoriossa, jonka jälkeen niitä on myöhemmin syötetty sähköiseen muotoon. Joissakin ominaisuuksissa tuloksissa oli myös geoteknisesti täysin mahdottomia tuloksia. Piirrettäessä ominaisuuksista kuvaajia ja laskettaessa keskiarvoa ja mediaania mahdottomat arvot on jätetty pois ja rajattu tarkastelemaan vain mahdollisia arvoja. Esimerkiksi hiekalla ja soralla muutaman näytteen tiheydeksi on merkitty suurempi kuin 2,8, joka on kiinteän kallion tiheys.

Epäilyttävän pienet tai suuret arvot tuloksissa johtuvat mitä todennäköisimmin mittaus- tai kirjoitusvirheestä, eikä yhden ominaisuuden epäilyttävä arvo tällöin vaikuta saman näytteen muihin tuloksiin. Tämän vuoksi muista näytteistä hyvin paljon poikkeavat tulokset on poistettu, mutta saman näytteen muiden ominaisuuksien ollessa normaaleja, nämä on kuitenkin käsitelty.

Käsitellyt tulokset on esitetty histogrammeina, joihin on piirretty sovitettu normaalijakauman kuvaaja. Histogrammien avulla kuvataan maalajeittain kunkin tarkasteltavan ominaisuuden arvojen jakautuminen valitun asteikon mukaisesti. Sopiva asteikko on arvioitu jokaiseen histogrammiin erikseen, joten eri maalajien kuvallisessa vertailussa on otettava huomioon mahdolliset erilaiset asteikot. Jokaiseen histogrammiin on kirjattu kyseisessä tarkastelussa olevien näytteiden määrä, otoksen keskiarvo sekä mediaani.

Normaalijakauma eli Gaussin jakauma on keskeisen raja-arvolauseen määrittelemä jakauma. Se on yksi tärkeimpiä teoreettisia malleja satunnaisilmiöiden matemaattisessa kuvaamisessa, sillä toistettaessa satunnaiskoetta tarpeeksi monta kertaa, satunnaismuuttujan summan tai keskiarvon jakauma lähenee normaalijakaumaa. Histogrammeihin piirretyissä normaalijakauman kuvaajissa jakauman huippu on tarkastellun ominaisuuden keskiarvon kohdalla. Käyrän leveys taas kuvaa otannan keskihajontaa. Pienemmällä keskihajonnalla on kapeampi käyrä kuin suuremmalla keskihajonnalla.

#### 4.2

### Käsiteltävät ominaisuudet

Maalajien ominaisuudet voidaan jakaa luokitusominaisuuksiin ja geoteknisiin ominaisuuksiin. Luokitusominaisuuksilla tarkoitetaan lähinnä maalajien koostumusta ja rakennetta kuvaavia yleisiä ominaisuuksia. Geotekniset ominaisuudet ovat pääasiassa maa- ja pohjarakenteiden geoteknisessä suunnittelussa käytettäviä ominaisuuksia. Maalajien luokitusominaisuuksien avulla voidaan suurin piirtein arvioida geoteknisiä ominaisuuksia. Merkittävimmät luokitusominaisuudet ja geotekniset ominaisuudet on esitetty taulukossa 7. Luokitusominaisuudet voidaan edelleen jakaa taulukon 8 mukaisesti koostumus- ja rakenneominaisuuksiin. (Korhonen ym. 1974)

Taulukko 7. Maalajien merkittävimmät luokitusominaisuudet ja geotekniset ominaisuudet. (Korhonen ym. 1974)

Luokitusominaisuudet	Geotekniset ominaisuudet
Humuspitoisuus	Kokoonpuristuvuus- ja muodonmuutosominaisuudet
Lajitepitoisuus	Lujuusominaisuudet
Raekokosuhde	Hydrauliset ominaisuudet
Rakeiden pyöristyneisyys ja muoto	Routivuus
Plastisuus	Lämpötekniset ominaisuudet
Tiiveys	
Vesipitoisuus	
Sensiitiivisyys	
Maatuneisuus	

Taulukko 8. Maalajien luokitusominaisuuksien jaottelu koostumus- ja rakenneominaisuuksiin. (Rantamäki ym. 1982)

Koostumusominaisuudet	Rakenneominaisuudet
Raemuoto	Vesipitoisuus
Lajitepitoisuus	Rakennetyypit
Humuspitoisuus	Tiiviys ja tiivistyminen
Kiintotiheys	Plastisuus

Maanäytteiden laboratoriotutkimukset on suoritettu yleisesti käytössä olevilla meneteltytavoilla ja tulokset on käsitelty maalajeittain. Näytteistä määritetyistä ominaisuuksista on otettu tähän julkaisuun kymmenen yleistä ominaisuutta. Taulukossa 9 on tarkennettu, mitä nämä ominaisuudet tarkoittavat.

Taulukko 9. Julkaisussa käsiteltävät ominaisuudet ja niiden määritelmät.

Ominaisuus	Käytetty yksikkö	Määritelmä
<b>Tilavuuspaino</b>	kN/m <sup>3</sup>	Luonnontilaisen maamassan painon ja tilavuuden suhde
<b>Tiheys</b>	t/m <sup>3</sup>	Maalajin mineraaliaineksen suhde sen tilavuuteen
<b>Vesipitoisuus</b>	%	Maamassasta kuivatettaessa poistuvan veden painon suhde kuivatun maa-aineksen painoon, kun kuivaus tapahtuu 105 °C lämpötilassa / Maa-aineksessa olevan veden massan ja kuivan maa-aineksen massan suhde prosentteina
<b>Juoksuraja</b>	%	Jos maalajin vesipitoisuus on suurempi kuin juoksurajaa vastaava vesipitoisuus, maalaji on juoksevassa tilassa / Plastisen ja juoksevan olomuodon välinen raja hienorakeisilla maalajeilla
<b>Kieritysraja</b>	%	Jos vesipitoisuus on juoksurajaa pienempi, mutta kieritysrajaa suurempi, maalaji on plastisessa tilassa / Kiinteän ja plastisen olomuodon välinen raja hienorakeisilla maalajeilla
<b>Plastisuusluku</b>	–	Juoksurajan ja kieritysrajan vastaavien vesipitoisuuksien erotus, joka ilmaisee alueen, jossa maalaji on plastisessa tilassa
<b>Hienousluku</b>	–	Vesipitoisuus, jossa 60 g/60° kartio painuu täysin häiriintyneeseen näytteeseen 10 mm
<b>Vedenläpäisevyys</b>	m/s	Darcyn lain mukaan maassa virtaavan veden nopeus, kun hydraulinen putous on yksi
<b>Suljettu leikkauslujuus</b>	kN/m <sup>2</sup>	Maan leikkauslujuus murtotilassa
<b>Sensitiivisyys</b>	–	Luonnontilaisen maakerroksen ja täysin häirityn maakerroksen suljettujen leikkauslujuuksien suhde

Julkaisussa esitettävien ominaisuuksien lisäksi joistakin näytteistä on määritetty myös optimivesipitoisuus, optimi-tilavuuspaino, puristuslujuus, ödometrikokeen parametrejä ( $e_0$ ,  $n_v$ ,  $c_c$  ja  $c_v$ ), siipikairan sensitiivisyys, esikuormitus näytteenotto-syvyydessä, leikkauskokeen koheesio ja kitkakulman tangentti sekä kolmiaksaalikoikeesta parametrit ( $\beta$ ,  $\varepsilon$ , ja  $\sigma$ ) ja näytteen luonnontilainen vesipitoisuus. Näitä edellä mainittuja ominaisuuksia on kuitenkin määritetty vain harvoista näytteistä tai niiden määrittämismenetelmistä eri vuosikymmeninä ei ole tarpeeksi tietoa, jotta niistä voisi esittää vertailukelpoisia ja luotettavia tuloksia. Näytteenoton yhteydessä maastossa on suoritettu myös painokairauksia, mutta niiden tuloksia ei ole tallennettu käsiteltäväksi.

Taulukossa 10 on esitetty näytteiden määrä maalajeittain eri ominaisuuksien määrittämisessä. Taulukosta voidaan myös lukea, minkä maalajien tulokset on esitetty kunkin ominaisuuden kohdalla. Alimmalle riville on laskettu kumulatiiviset arvot, jotka kertovat, monestako näytteestä on määritetty kyseessä oleva ominaisuus. Maalajit on lueteltu taulukossa aakkosjärjestyksessä.

Taulukko 10. Näytteiden määrä maalajeittain eri ominaisuuksien määrittämisessä.

Maalaji	Vesipitoisuus	Tilavuuspaino	Tiheys	Plastiisuus	Vedenläpäisevyys	Hienousluku	Sensitiivisyys
Hk	779	369	80		308		
HkMr	857	149			334		
hkSi	210	88			70		
hkSiMr	105						
huHk	46	39	39		64		
huHkMr	30						
huSr	48						
laSa	1322	938	409	131	94	571	700
liSa	1538	1262	598	276		858	1054
Lj	400	340	213			146	205
ljlaSa	125	104	56			52	64
ljliSa	52	34					
ljSa	93	86	61			41	66
ljSaSi	183	170	65			75	120
ljSi	95	63	33				49
saHkMr	195	39					
saLj	95	75	71				30
saSi	1857	1323	509	156	128	738	905
saSiMr	75						
Si	592	323	97		124	80	127
siHk	296	120			62		
siHkMr	562	55			160		
siLj	90	51					
siMr	35						
Sr	177						
srHk	95						
srHkMr	139				58		
SrMr	34						
Tv	172	159					
Yhteensä	10297	5787	2231	563	1402	2561	3320

## 4.3

## Rakeisuus

Rakeisuudella tarkoitetaan eri suuruisten rakeiden suhteellista painojakaumaa maanäytteissä. Rakeisuus ja sen avulla lajitepitoisuus määritetään seulonnalla ja areometrikokeella. Karkearakeiset maalajit voidaan määrittää kuivaseulonnalla. Kun aineen hienoainespitoisuus on noin korkeintaan noin 10 %, sopii pesuseulonta. Hienorakeisten maalajien rakeisuus taas selvitetään areometrikokeella tai sedigrafilla. (Rantamäki ym. 1982)

Aineiston maalajien rakeisuus on selvitetty määrittämällä rakeisuuskäyrät laboratoriossa kuiva- ja pesuseulontakokeiden sekä areometrikokeiden tai sedigrafin avulla. Näistä kuivaseulonnalla voidaan määrittää vain karkeimpien maalajien rakeisuus. Kuivaseulonta on suoritettu seulasarjalla, jonka seulojen neliönmuotoisten reikien koot vastaavat rakeisuuskäyrän asteikkoraekokoja. Reikien koot suurimmasta pienimpään ovat 64, 32, 20, 16, 8, 4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 ja 0,074 mm.



Pesuseulontaa on käytetty, jos runsas hienoainepitoisuus on vaikeuttanut kuivaseulontaa. Pesuseulonnassa seulojen reikien koot ovat 2, 0,5, 0,25 ja 0,074 mm. Pesuseulonnan ideana on pestä ensin hienoimmat rakeet pienimmän seulan läpi ja tehdä sen jälkeen karkeammalle aineelle kuivaseulonta. Lopuksi lasketaan koko rakeisuuskäyrä, jossa huomioidaan myös poispesty aines. (Jääskeläinen 2009)

Hienoimpien maalajien, eli saven ja siltin, rakeisuus on määritetty pienempien kuin 0,074 mm kokoisten rakeiden osalta areometrikokeen tai sedigrafin avulla. Areometrikokeessa tietty määrä tutkittavaa kuivaa maamateriaalia on lietetty veteen. Lieke sekoitetaan ensin huolellisesti ja jätetään sen jälkeen laskeutumaan. Lietteessä olevat maarakeet alkavat painua pohjaan, jolloin lietteen tiheys astian yläosassa pienenee tietyllä nopeudella. Rakeiden koot ja määrät saadaan selville mittaamalla lietteen tiheyttä tietyin aikavälein areometrillä.

Areometrikoeita varten näytteissä ei saa olla kokkareita, joten näytteet on voitu tarvittaessa hienontaa. Näytteen liettäminen on suoritettu natriumpyrofosfaattiliuoksessa ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + 10 \text{H}_2\text{O}$ ). Hyvin sekoitetun lietteen ominaispaino on mitattu areometrillä 1 ja 6 minuutin sekä 1, 5 ja 24 tunnin kuluttua kokeen aloittamisesta.

1990-luvun alusta lähtien aineiston hienorakeisten maalajien rakeisuus on määritetty sedigrafin avulla. Sedigrafimäärittystä varten kuivaseulonta on suoritettu edellä kuvatuksi, pienimmän seulan ollessa 0,25 mm. Tämän seulan läpäisseelle hienoainekselle suoritetaan sedigrafimäärittys. Sedigrafin eli automaattisen partikkelianalysaattorin toiminta perustuu nesteeseen (natriumpyrofosfaattiliuos) lietetyn mineraaliaineksen sedimentaationopeuden mittaamiseen. Laite määrittää sedimentaationopeuden näytteen läpäisevän röntgensäteen vaimenemisen perusteella ja tulostaa tiedostoon eri raekokoja vastaavat läpäisyprosentit. Kuivaseulonnan ja sedigrafitulosten perusteella lasketaan yhdistetty rakeisuuskäyrä.

Maalajin humuspitoisuus tarkoittaa eloperäisen aineksen prosenttiosuutta kuivan maa-aineksen määrään verrattuna. Humuspitoisuus vaikuttaa maalajin geoteknisiin ominaisuuksiin huomattavasti. Humus lisää maalajin luonnollista vesipitoisuutta ja alentaa näin samalla maalajin leikkauslujuutta ja vedenläpäisevyyttä sekä lisää maalajin kokoonpuristuvuutta. Kuivana humus kuitenkin lisää maalajin lujuutta. Hienorakeisilla maalajeilla myös plastisuusominaisuudet muuttuvat, kun humuspitoisuus kasvaa. (Rantamäki ym. 1982)

Humuspitoisuuden määrittämenetelmiä ovat:

- kuivapolttomenetelmä,
- märkäpolttomenetelmä,
- natriumhydroksidimenetelmä ja
- kolorimetrimenetelmä.

#### 4.4

### Vesipitoisuus

Maan vesipitoisuus tarkoittaa maassa olevan veden massan ja kuivan maa-aineksen massan suhdetta. Veden esiintymismuotoja maaperässä ovat vapaa eli gravitaatiovesi, kapillaarivesi ja adsorptio- eli vaippavesi. (Rantamäki ym. 1982) Vesipitoisuus  $w$  ilmoitetaan prosentteina ja se saadaan määritettyä seuraavasti:

$$w(\%) = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100 \quad (1)$$

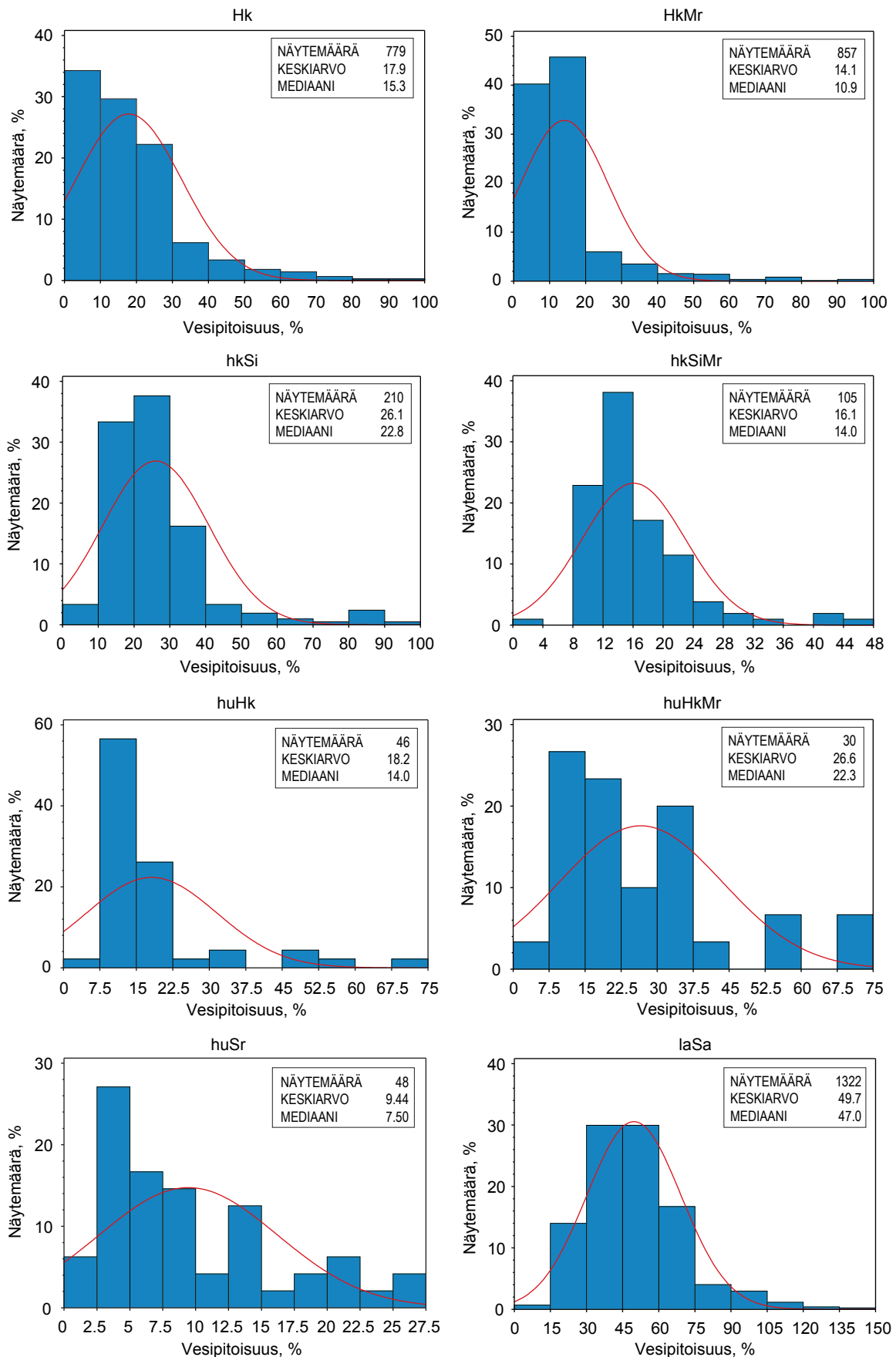
jossa

$w$  on vesipitoisuus (%)  
 $m_w$  maanäytteen sisältämän veden massa, g ja  
 $m_d$  kuivan maanäytteen massa, g.

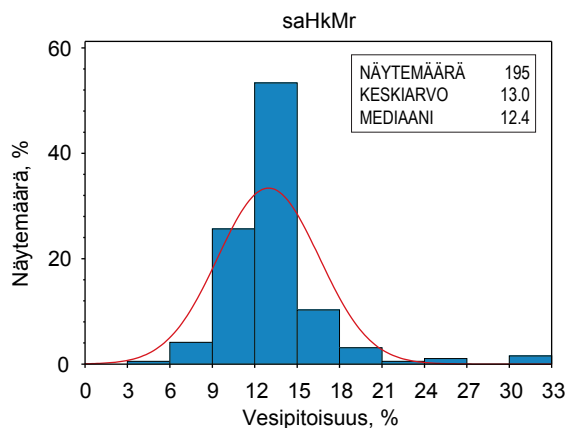
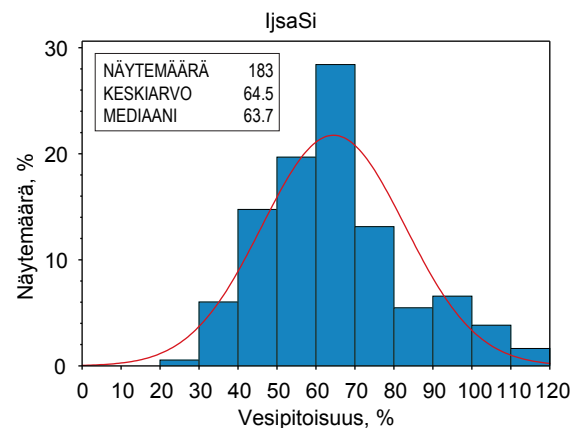
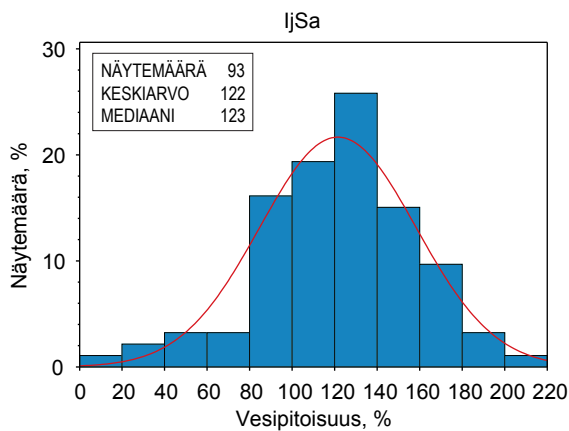
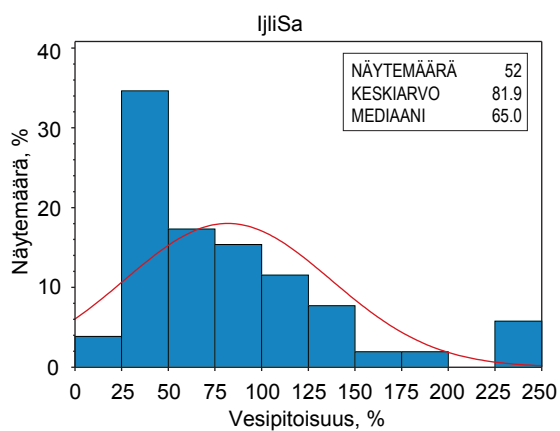
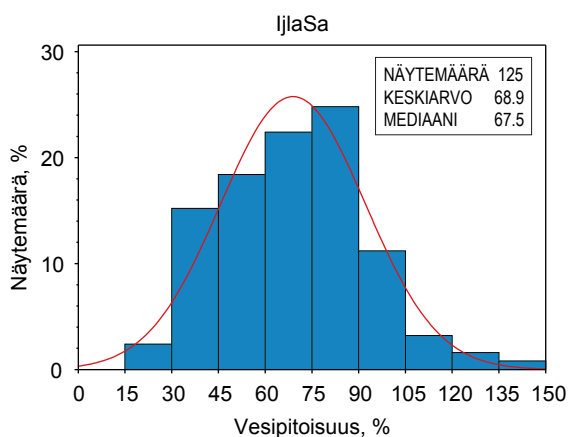
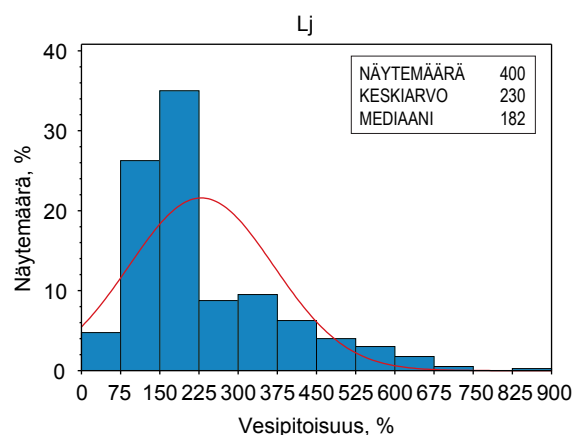
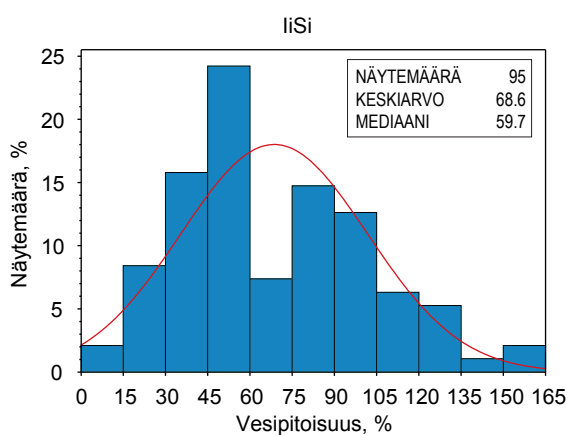
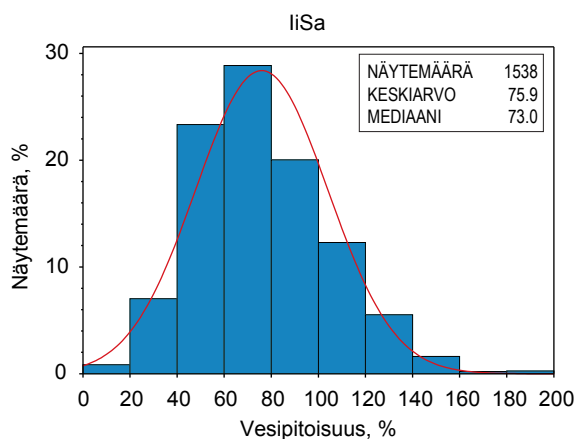
Näytteiden vesipitoisuus on määritetty siten, että näytteitä on pidetty vähintään kahden tunnin ajan kuivauskaapissa 105 °C lämpötilassa. Näytteet on punnittu ennen ja jälkeen kuivauksen ja vesipitoisuus on laskettu painoprosentteina näytteen kuivasta painosta.

Aineiston kaikista näytteistä (10 297 kpl) on määritetty vesipitoisuus. Kuvassa 5 on esitetty kaikkien julkaisussa käsiteltyjen 29 maalajin vesipitoisuuden vaihteluväli, keskiarvo ja mediaani. Muiden ominaisuuksien tapaan myös vesipitoisuuden vaihteluväli oli useimmilla maalajeilla suuri. Vesipitoisuuden tuloksia piirrettäessä kaikki ääripään tuloksetkin on huomioitu. Esimerkiksi silttisellä hiekkamoreenilla 90 % näytteistä vesipitoisuus on korkeintaan 17,0 %. Jäljelle jääneen 10 % eli 56 näytteen vesipitoisuus jakaantuu kuitenkin niinkin suuren alueen kuin 17 - 93 % välille. Turpeen vesipitoisuus on huomattavasti suurempi kuin muilla maalajeilla. Myös liejun vesipitoisuus on hyvin suuri ja tämän vuoksi myös liejupitoisten maalajien vesipitoisuus on suurempi kuin muilla. Hiekka-, sora- ja moreenimaalajien vesipitoisuudet ovat pienimmät.

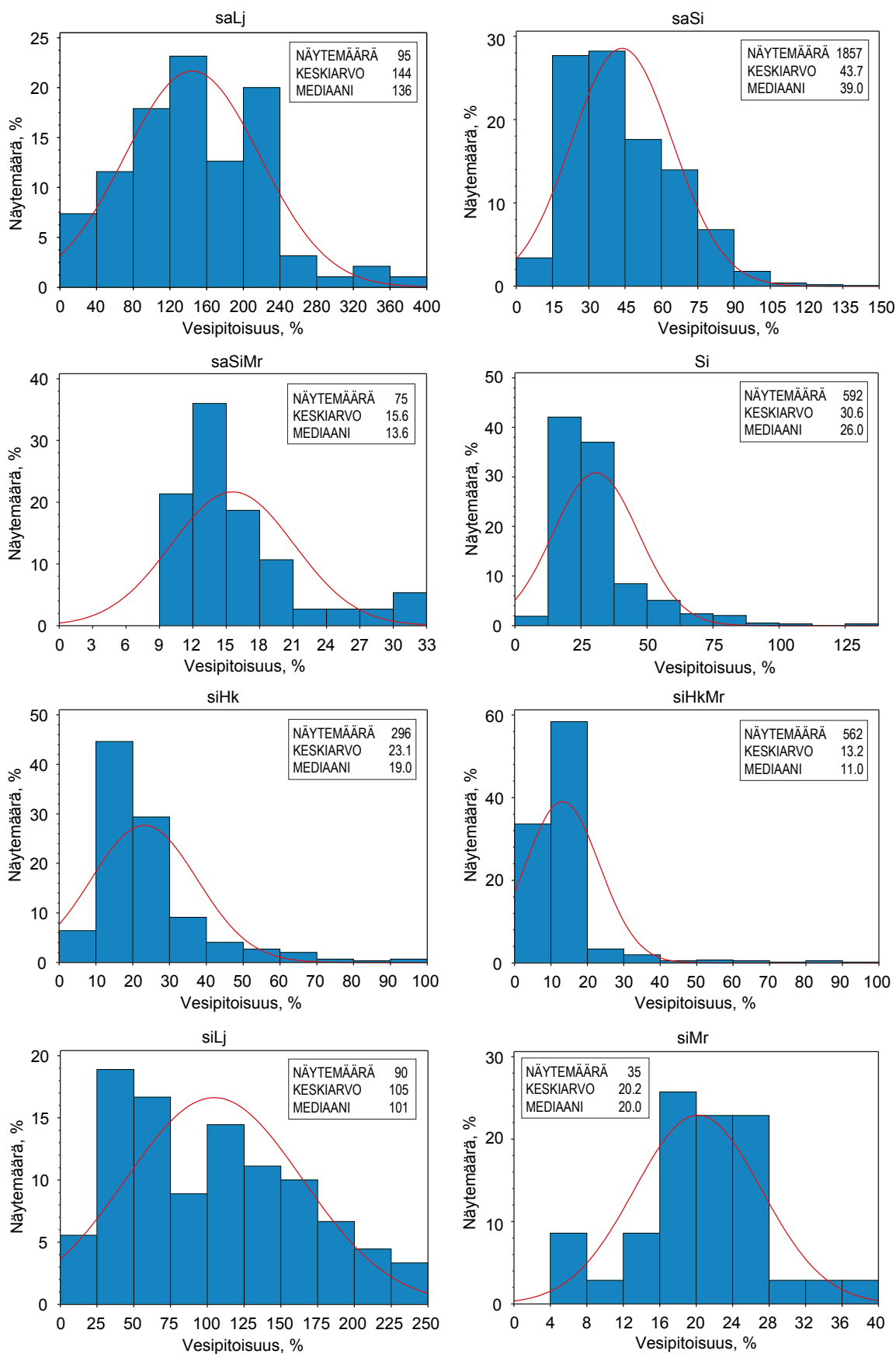




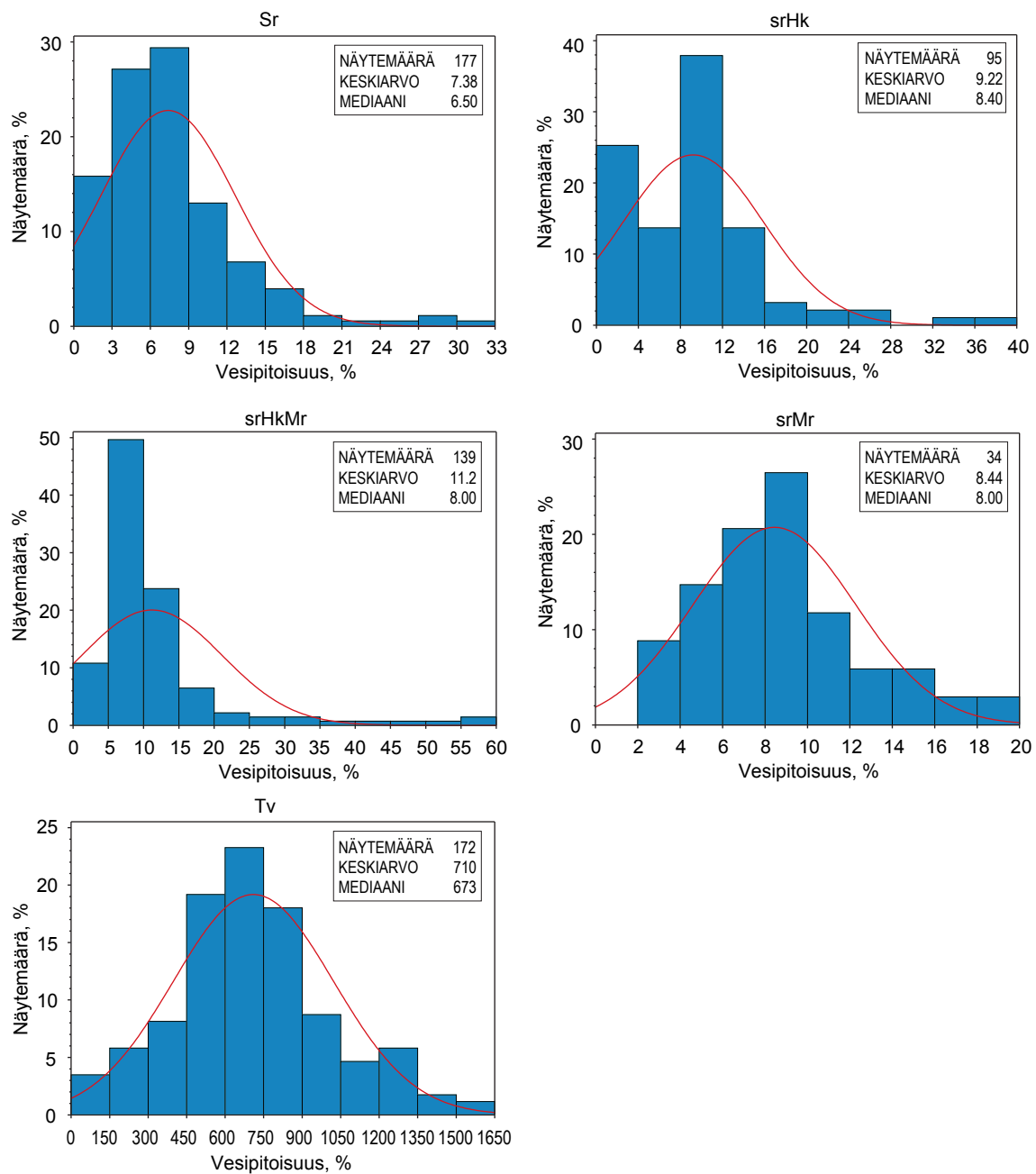
Kuva 5. Vesipitoisuuden jakautuminen maalajeittain (jatkuu seuraavalle sivulle).



Kuva 5. Vesipitoisuuden jakautuminen maalajeittain (jatkuu seuraavalle sivulle).



Kuva 5. Vesipitoisuuden jakautuminen maalajeittain (jatkuu seuraavalle sivulle).



Kuva 5. Vesipitoisuuden jakautuminen maalajeittain.



## Tilavuuspaino

Tilavuuspaino tarkoittaa tilavuusyksikön suuruiseen maa-ainekseen kohdistuvaa painovoimaa. Näytteiden tilavuuspaino on määritetty hienorakeisilla maalajeilla yleensä luonnontilaisista näytteistä ja karkeimmilla maalajeilla punnitsemalla 1-2 litran suuruisen näytteen paino. Tilavuuspaino  $\gamma$  lasketaan kaavalla (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 1985):

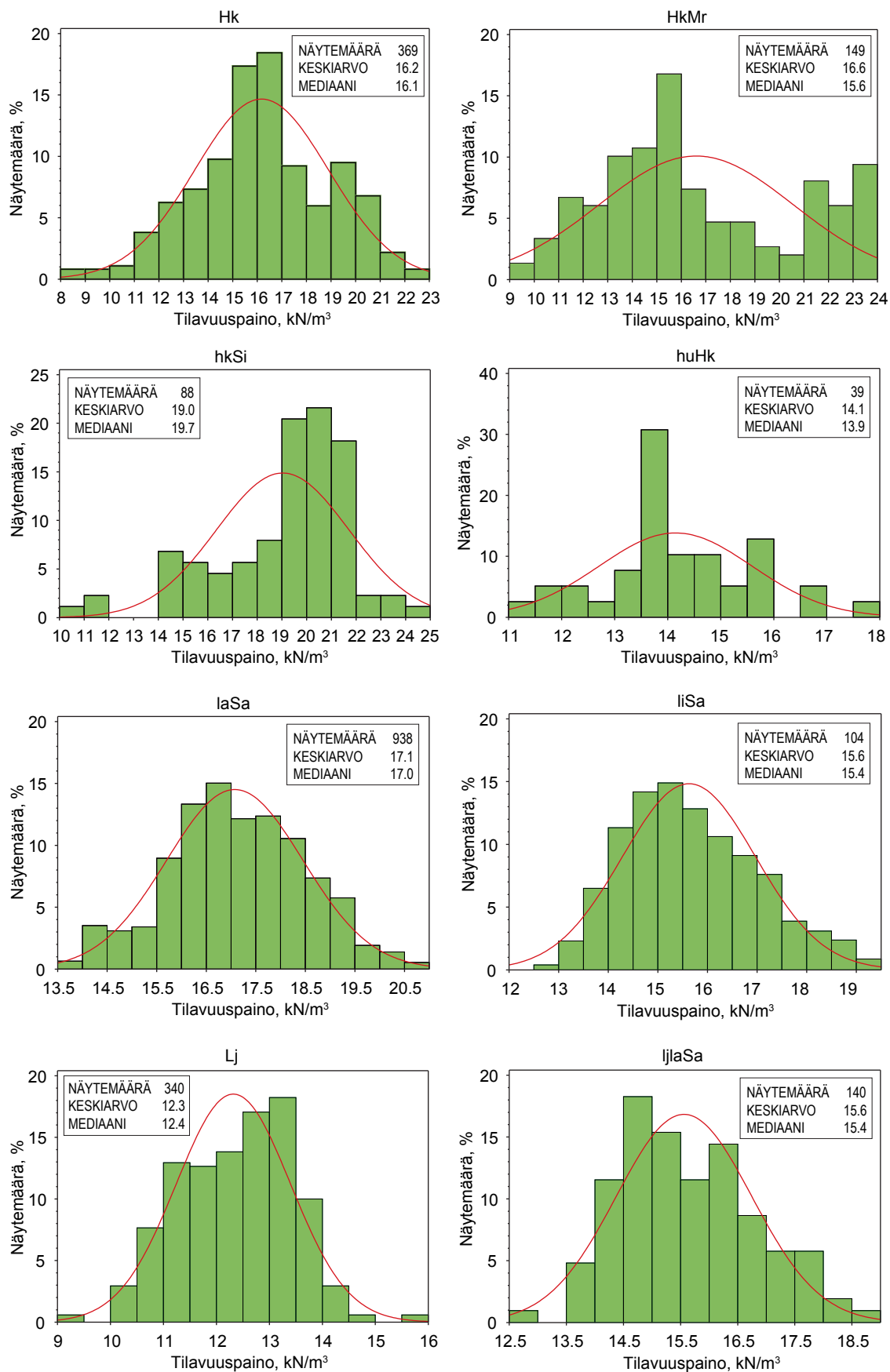
$$\gamma = \frac{m \cdot g}{V} \quad (2)$$

jossa

$\gamma$	on	tilavuuspaino, kN/m <sup>3</sup>
$m$		näytteen massa, kg
$g$		maan vetovoiman kiihtyvyys ( $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$ ) ja
$V$		näytteen tilavuus, m <sup>3</sup> .

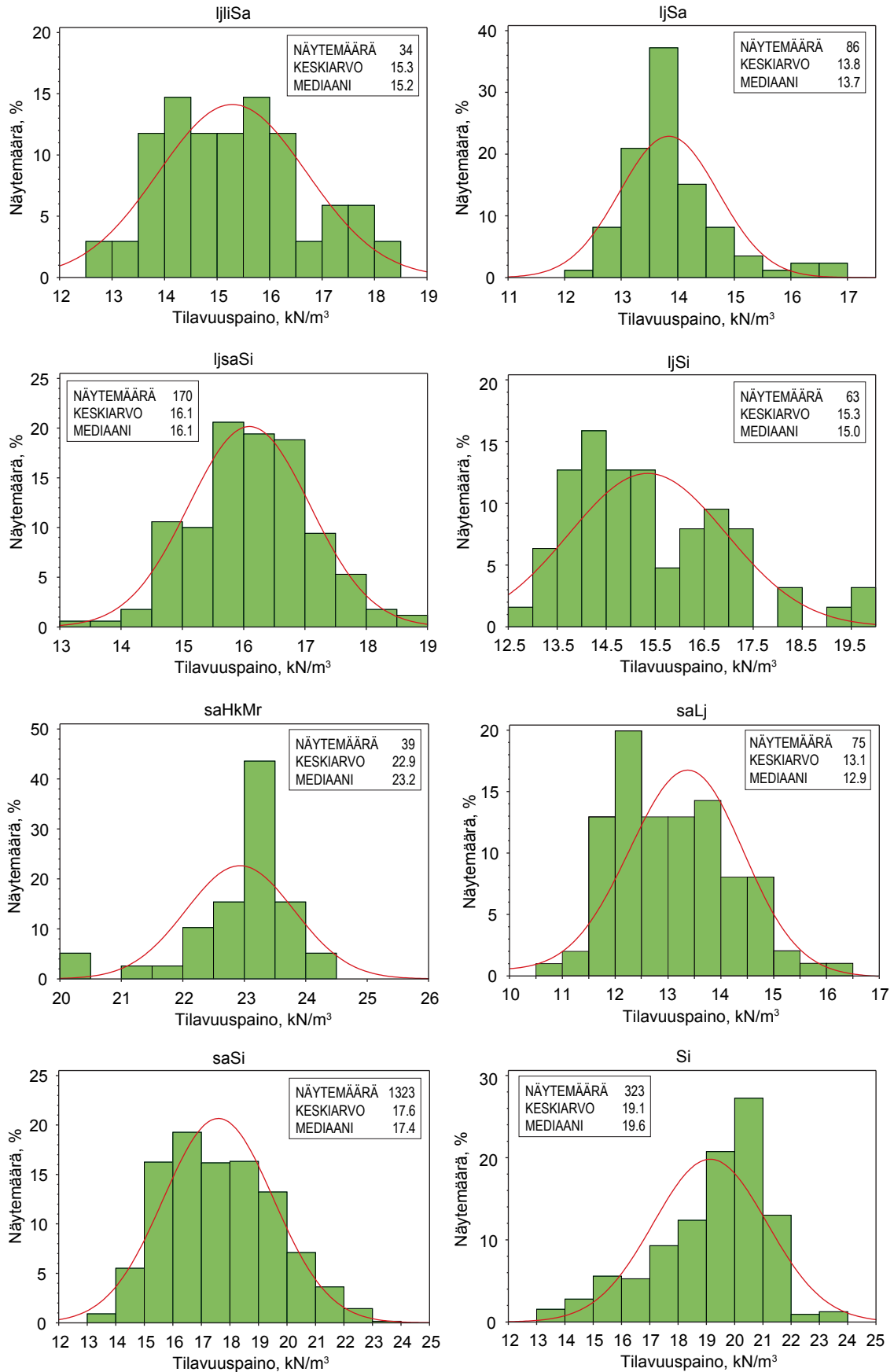
Tilavuuspaino kasvaa maan tiivistyessä, koska silloin maan kokonaistilavuus pienenee. Aineiston näytteiden tilavuuspaino maalajeittain on esitetty kuvassa 6. Kuvaajista nähdään, että turpeen tilavuuspaino on selvästi pienempi kuin muiden maalajien. Myös liejun tilavuuspaino on pieni, jolloin myös kaikkien liejuisten maalajien tilavuuspaino on pienempi kuin muiden maalajien.



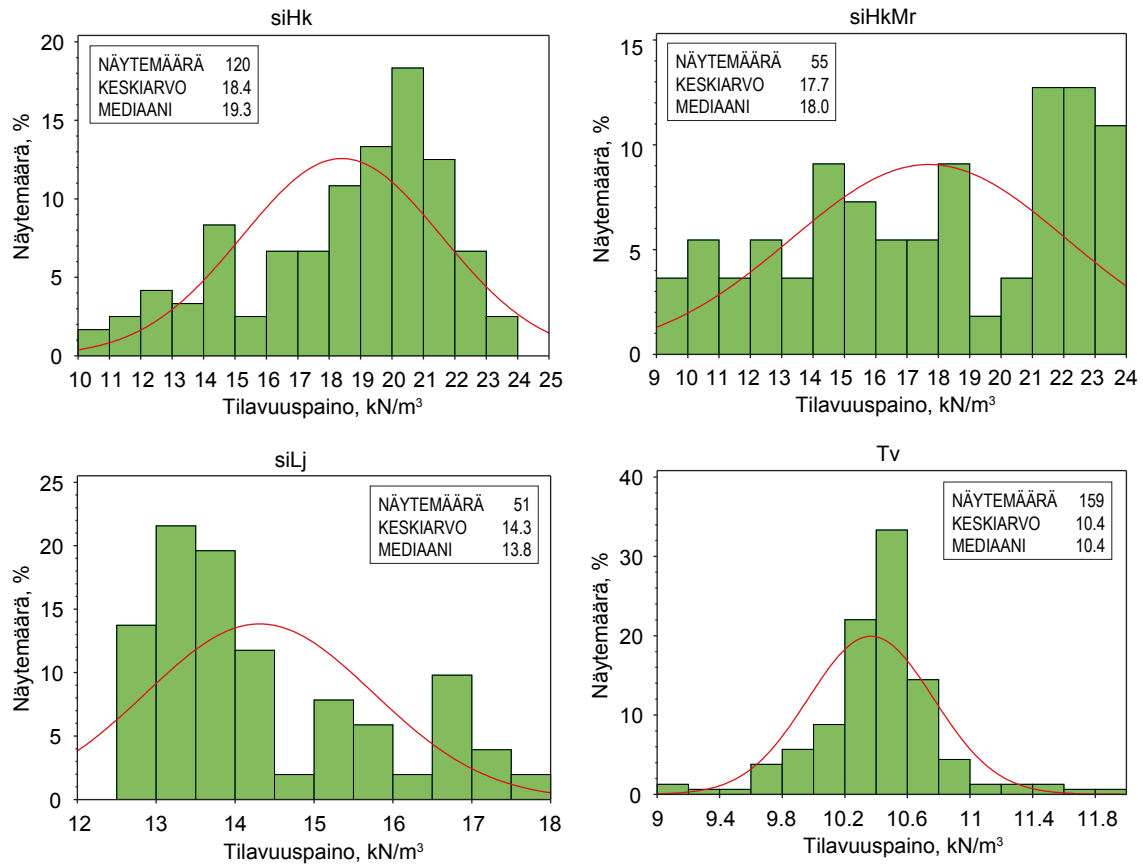


Kuva 6. Tilavuuspainon jakautuminen maalajeittain (jatkuu seuraavalla sivulla).





Kuva 6. Tilavuuspainon jakautuminen maalajeittain (jatkuu seuraavalla sivulla).



Kuva 6. Tilavuuspainon jakautuminen maalajeittain.

## Tiheys

Maalajin tiheys määräytyy enimmäkseen maalajin sisältämien rakeiden mineraalikoostumuksen ja maalajin sisältämän eloperäisen aineksen perusteella. Suomessa esiintyvien kitkamaalajien tiheys on yleensä lähes vakio. Pieniä vaihteluja syntyy pääasiassa mineraalikoostumuksessa esiintyvistä vaihteluista johtuen. Suurin tiheys on karkealla soralla (noin 2,70 t/m<sup>3</sup>) ja pienin tiheys hienolla hiekalla ja karkealla siltillä (noin 2,62 t/m<sup>3</sup>). Keskimääräinen tiheyden arvo Suomen kitkamaalajeilla on 2,65 t/m<sup>3</sup>. Eloperäisten maalajien eloperäisen aineksen tiheys on yleensä noin 1,25 t/m<sup>3</sup>. Sekä kivennäis- että eloperäisainesta sisältävien maalajien tiheys vaihtelee näiden kahden arvon välillä. (Rantamäki ym. 1982, Tie- ja vesirakennushallitus 1970, Valkeisenmäki 1973)

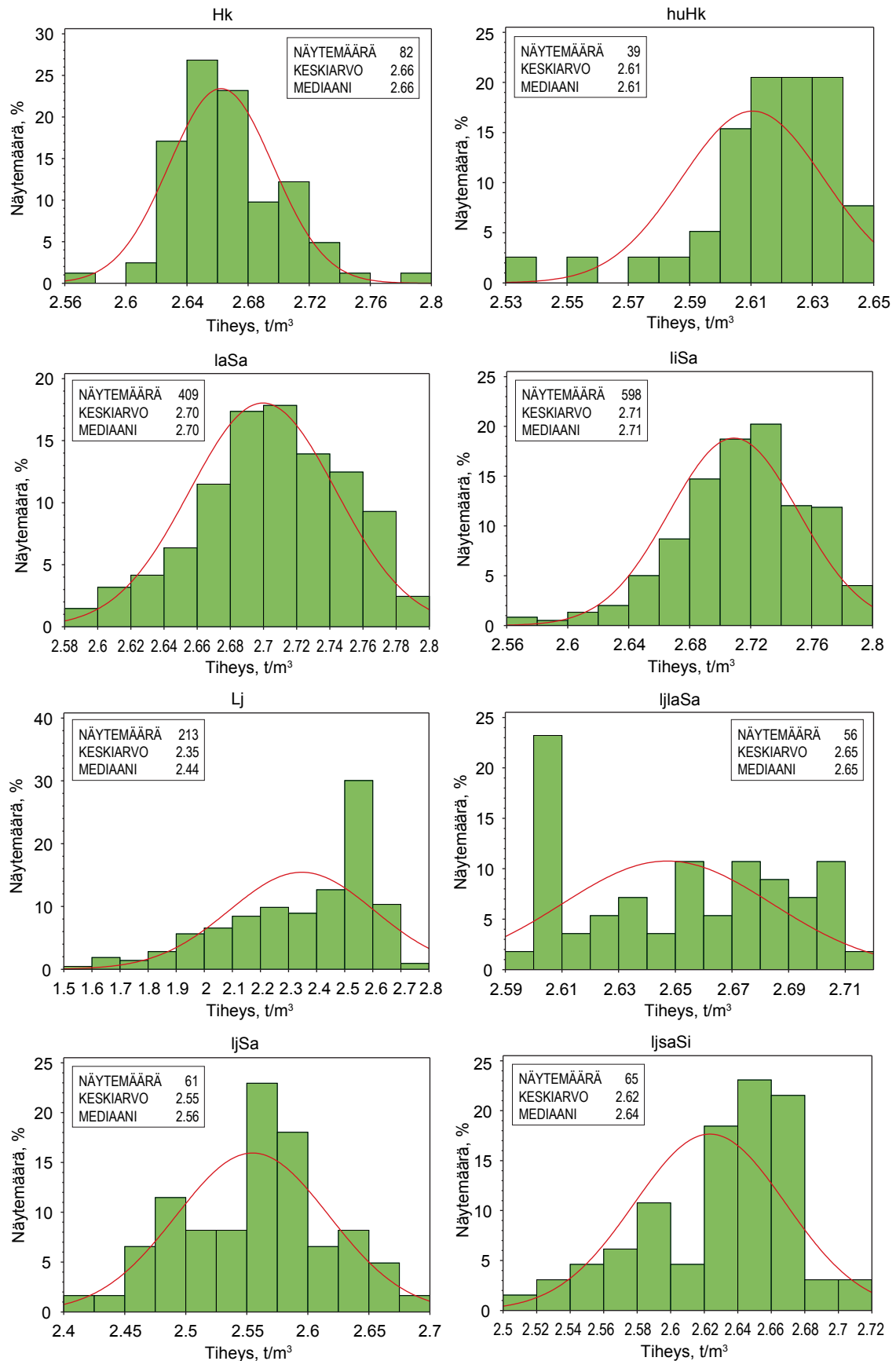
Aineiston näytteistä tiheys on määritetty kuivatetuista ja hienoksi jauhetuista näytteistä pyknometrin avulla. Menetelmässä pyknometrissä oleva näyte lämmitetään, tämän jälkeen jäähdytetään ja lopuksi pyknometri täytetään tislatulla vedellä merkkiin asti. Tiheys  $\gamma_s$  saadaan laskettua maa-aineuksen painon ja tilavuuden avulla seuraavasti:

$$\gamma_s = \frac{W_k}{V_k} \quad (3)$$

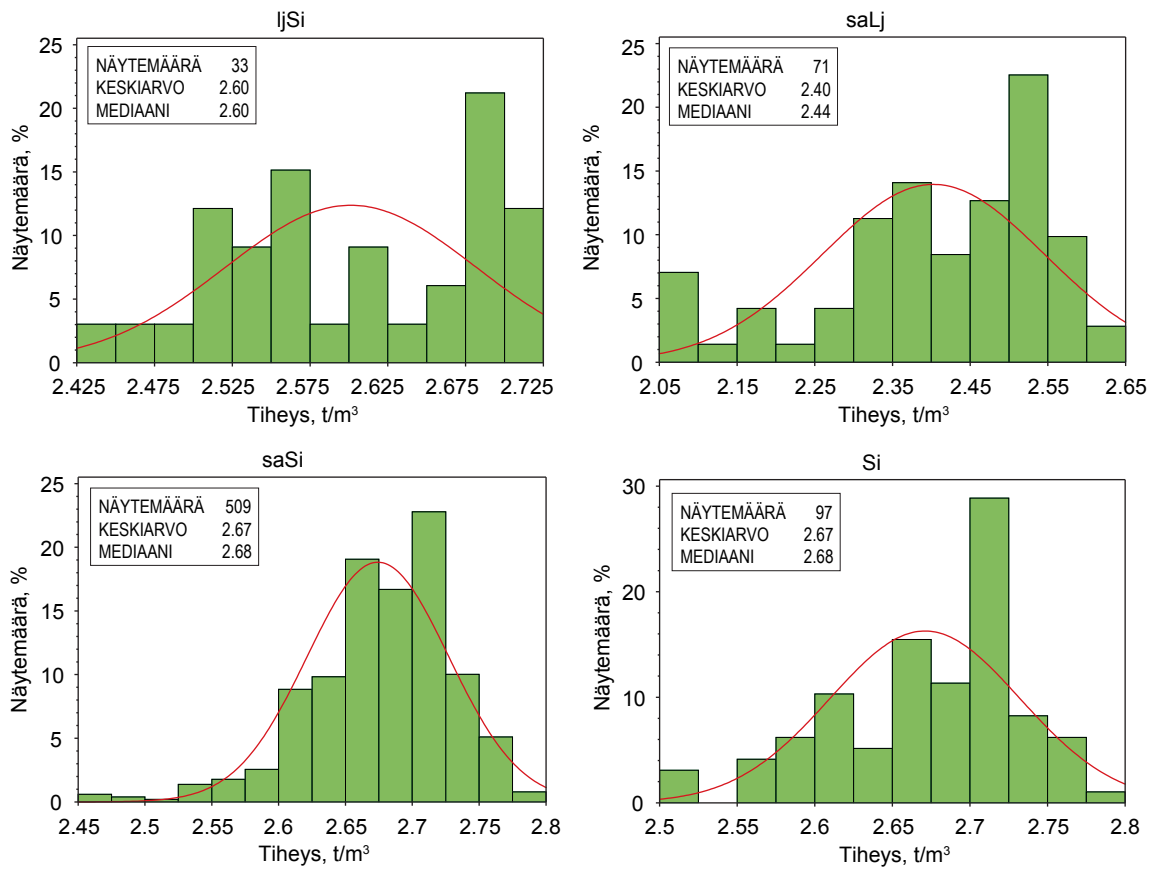
jossa

$\gamma_s$  on tiheys, t/m<sup>3</sup>  
 $W_k$  kiinteän aineksen massa, t, ja  
 $V_k$  kiinteän aineksen tilavuus, m<sup>3</sup>.

Kuvasta 7 nähdään aineiston maalajien tiheyden kuvaajat. Kuvaajat osoittavat, että aineiston näytteiden tiheyden arvot vaihtelevat hyvin vähän. Liejuja lukuun ottamatta maalajien tiheyden keskiarvot ja mediaanit ovat hyvin lähellä arvoa 2,65 t/m<sup>3</sup>.



Kuva 7. Tiheyden jakautuminen maalajeittain (jatkuu seuraavalla sivulla).



Kuva 7. Tiheyden jakautuminen maalajeittain.



## Vedenläpäisevyys

Näytteiden vedenläpäisevyys on määritetty laboratoriossa Darcyn lain avulla. Darcyn lain mukaan veden virtausnopeus  $q$  saadaan kaavasta:

$$q = K \cdot \frac{H}{h} \quad (4)$$

jossa  
 $K$  on hydraulisen johtavuuden kerroin ja  
 $H/h$  paineviivan kaltevuus.

Karkeiden maalajien vedenläpäisevyys on määritetty vakiopaineella. Koe suoritetaan ns. Proctor-sylinterillä. Näyte sullotaan haluttuun tiiviyyteen ja, kun näyte on täysin kyllästetty, annetaan veden valua näytteen läpi. Tässä koejärjestelyssä painekorkeus pysyy muuttumattomana ja vedenläpäisevyys  $K$  saadaan kaavalla:

$$K = \frac{Q \cdot h}{t \cdot A \cdot h} \quad (5)$$

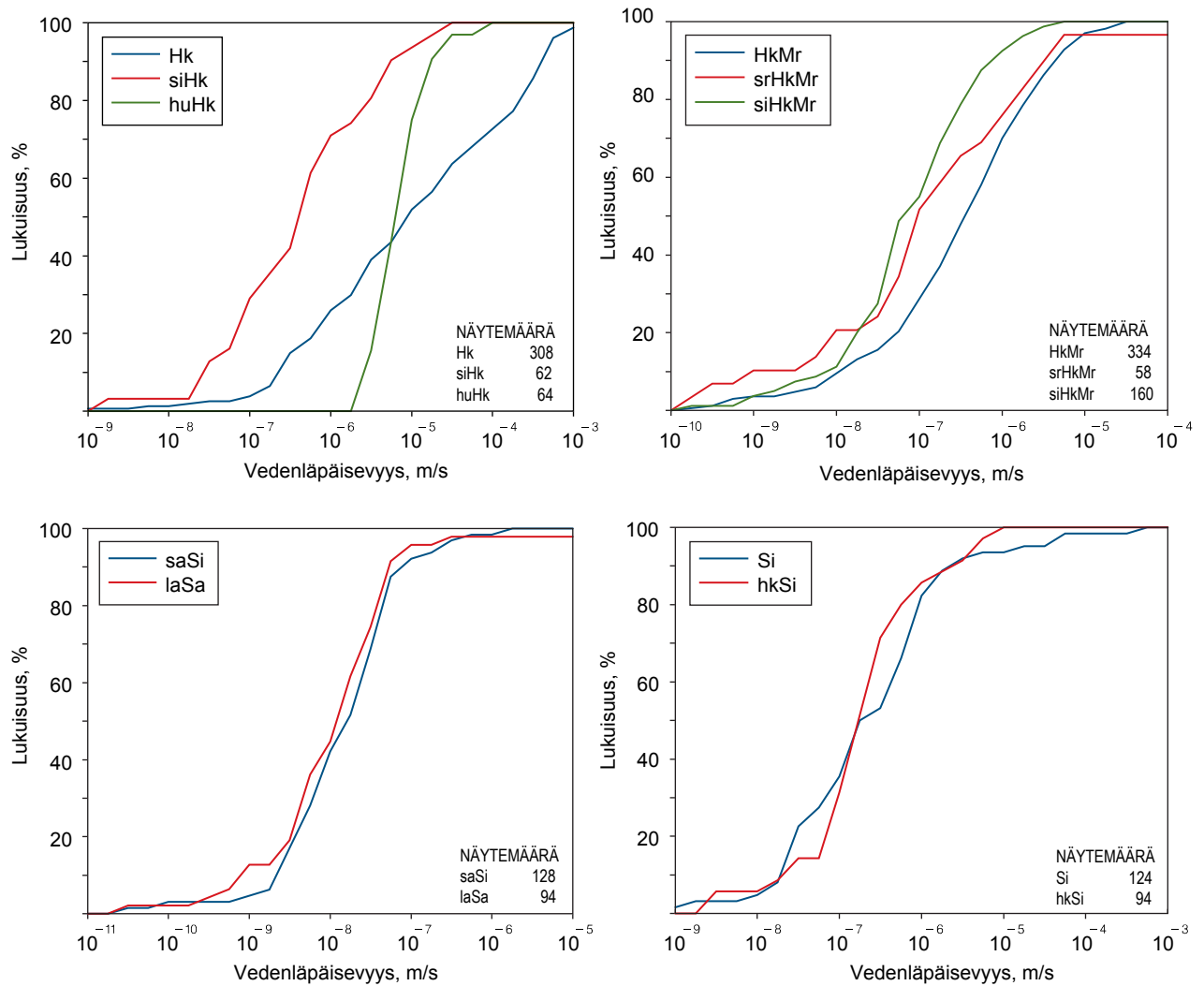
jossa  
 $H$  on painekorkeus,  
 $h$  näytteen korkeus,  
 $A$  näytteen pinta-ala ja  
 $t$  havaintoaika.

Heikosti vettä läpäisevien maalajien vedenläpäisevyyden määrittämiseen on käytetty muuttuvaa painekorkeutta. Menetelmällä saadaan mitattua hienorakeisten maalajien vedenläpäisevyys nopeammin kuin vakiopainemenetelmällä. Muuttuvaa painekorkeutta käytettäessä asetetaan Proctori-sylinterin yläpuolelle byretti, josta juoksutetaan näytteeseen vettä. Vedenläpäisevyys saadaan laskettua kaavalla:

$$K = 2,3 \frac{a \cdot h}{A \cdot t} \log \frac{H_1}{H_2} \quad (6)$$

jossa  
 $a$  on byretin poikkileikkausala,  
 $H_1$  vedenpinnan alkulukema ja  
 $H_2$  vedenpinnan loppulukema.

Maalajien lukuisuuskäyrät eli summajakauman kuvaajat vedenläpäisevyydelle on esitetty kuvassa 8. Logaritmiselle asteikolle piirretyistä käyristä nähdään, paljonko aineistossa on korkeintaan tietyn suuruisia arvoja. Maalajien mediaaniarvot voidaan lukea käyrien 50 % kohdalta. Kuvien perusteella tulokset ovat hyvin samanlaisia kuin yleisesti ilmoitetaan maalajien vedenläpäisevyyden vaihteluväliksi (Mustonen 1986).



Kuva 8. Vedenläpäisevyys maalajeittain.

#### 4.8

### Plastisuusominaisuudet

Hienorakeisilla maalajeilla on kolme erilaista olotilaa eli konsistenssia: kiinteä, plastinen ja juokseva. Maalajin vesipitoisuuden ollessa pieni ja aineksen kiinteää, hieno-aines on haurasta ja helposti murenevaa. Vesipitoisuuden kasvaessa hienorakeinen maa-aines muuttuu plastiseksi ja muovailtaessa se jää muovailtuun muotoonsa. Tarpeeksi suurella vesipitoisuudella hienoaines alkaa valua eli juosta. Kiinteän, plastisen ja juoksevan olomuodon välisiä rajoja kutsutaan konsistenssirajoiksi eli ns. Atterbergin rajoiksi. (Jääskeläinen 2009, Rantamäki 1982)

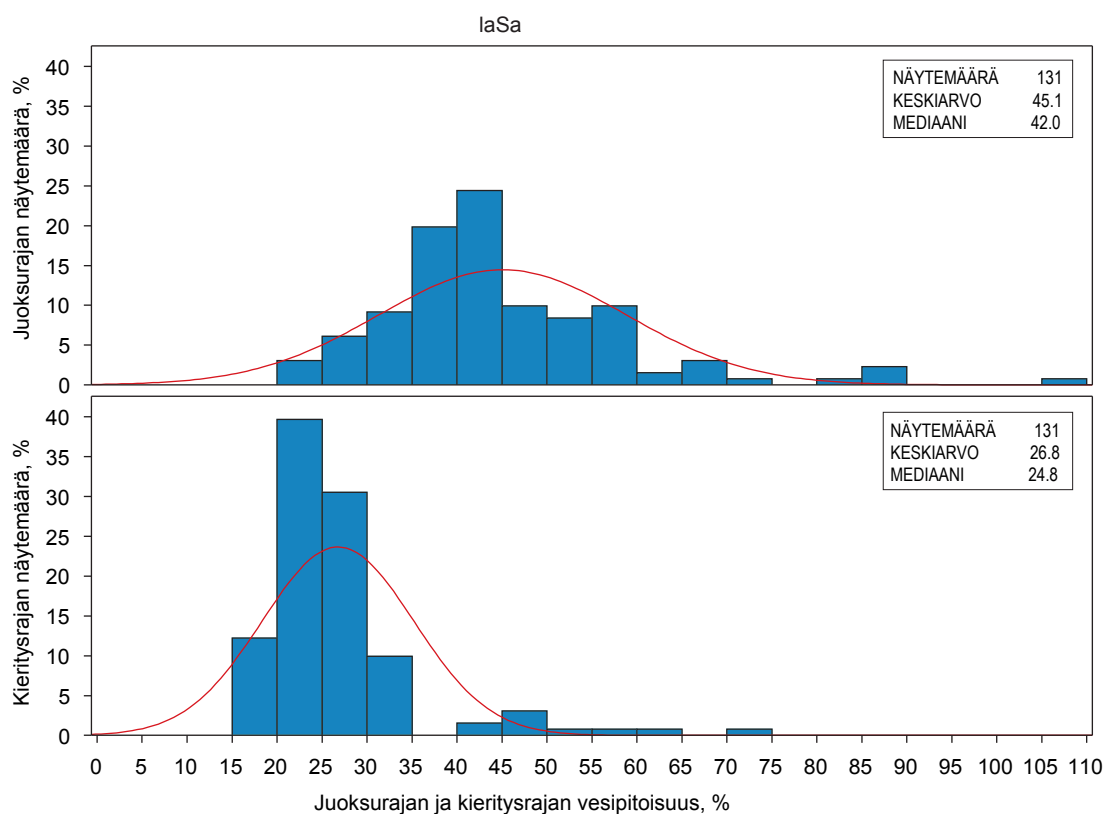
Plastisuusominaisuudet voidaan määrittää vain hienorakeisilta maalajeilta. Käytetyssä aineistossa yli 30 näytteestä juoksuraja, kieritysraja tai plastisuusluku on määritetty vain kolmella maalajilla. Seuraavassa on esitetty näiden tulokset.

## Juoksuraja ja kieritysraja

Juoksuraja on määritetty laboratoriossa Casagranden laitteen avulla. Ennen koetta on tarkistettu neljä kertaa suoritettulla pudotuskokeella näytteen putouskorkeus. Casagranden koputuskokeessa maljassa olevaan näytteeseen leikataan veitsellä rako ja katsotaan, sulkeutuuko rako 50 pudotuksen aikana.

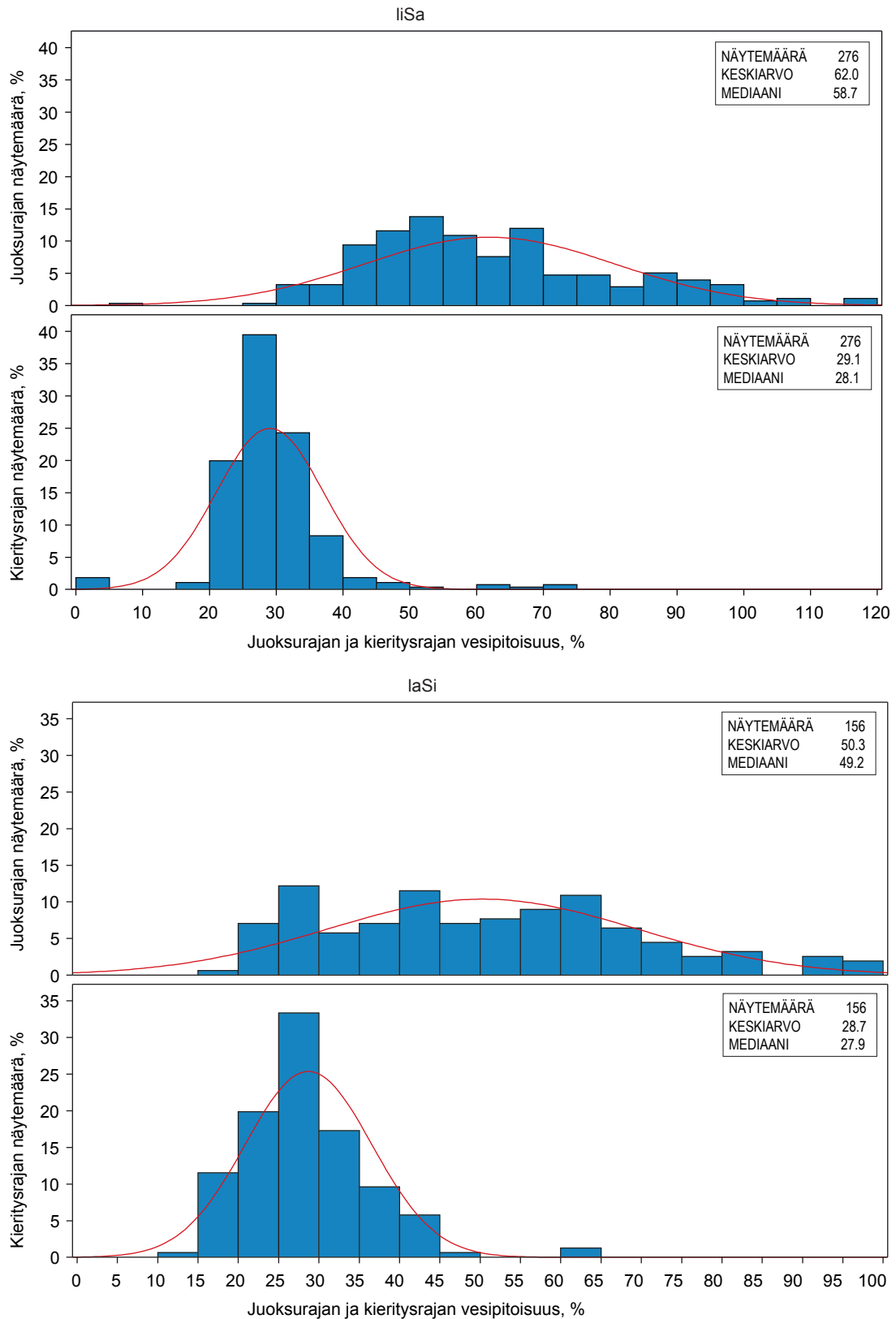
Kieritysraja on määritetty 3 mm:n paksuiseksi kieritetyn näytteen vesipitoisuudesta. Kieritysraja on se vesipitoisuus, jossa 3 mm paksuinen rihma murtuu, kun sitä rullataan minuutissa 80-90 kertaa edestakaisin lasilevyn päällä. Rihman alkaessa katkeilla, mitataan näytteen kosteusprosentti. Sekä juoksu- että kieritysrajaa vastaavat vesipitoisuudet on laskettu painoprosentteina näytteen kuivasta painosta. Kuvassa 9 on esitetty laihan ja liHAVAN saven sekä savisen siltin juoksurajan ja kieritysrajan arvot.

Kuvasta 9 nähdään, että tarkasteltujen maalajien juoksurajan vaihteluväli on suuri ja arvot ovat varsinkin lihavalla savella ja savisella siltillä jakautuneet hyvin tasaisesti. Sen sijaan kieritysrajan arvot ovat kaikilla kolmella maalajilla keskittyneet enimmäkseen 15-35 % vesipitoisuuden kohdalle.



Kuva 9. Laihan ja liHAVAN saven sekä savisen siltin kieritysrajan ja juoksurajan jakautuminen (jatkuu seuraavalla sivulla).





Kuva 9. Laihan ja lihavan saven sekä savisen siltin kieritysurajan ja juoksurajan jakautuminen.

#### 4.8.2

### Plastisuusluku

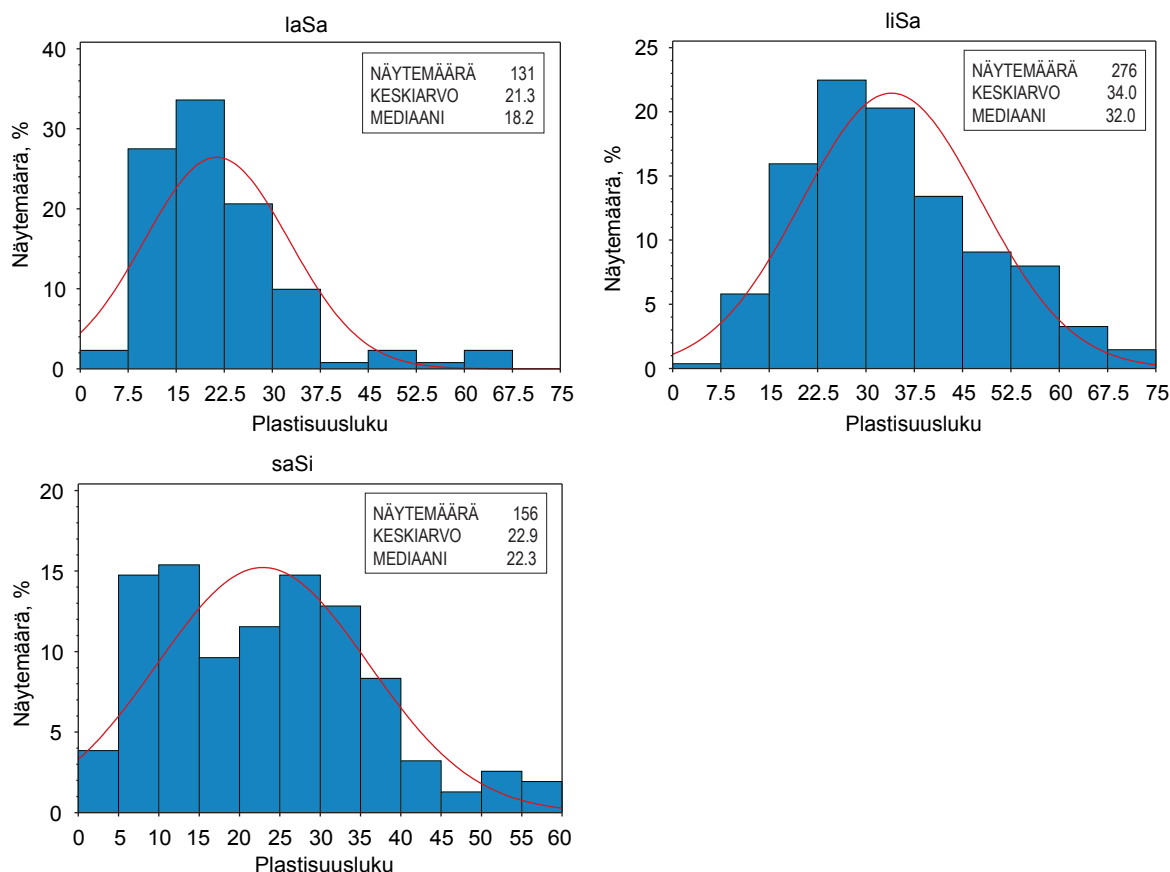
Plastisuusluku on juoksu- ja kieritysrajoja vastaavien vesipitoisuuksien erotus ja se kertoo plastisen alueen laajuuden. Yleensä plastisuusluku on sitä laajempi, mitä hienorakeisempaa aine on. Kaavalla ilmaistuna plastisuusluku  $I_p$  on

$$I_p = w_L - w_p \quad (7)$$

jossa

$I_p$  on plastisuusluku  
 $w_L$  juoksuraja (%) ja  
 $w_p$  kieritysraja (%).

Maalajit luokitellaan plastisuusluvun perusteella seuraavasti: vähän plastinen ( $I_p \leq 10$ ), kohtalaisen plastinen ( $10 < I_p < 25$ ) tai erittäin plastinen ( $I_p > 25$ ) (Korhonen ym. 1974). Kuvassa 10 on esitetty laihan ja lihavan saven sekä savisen siltin plastisuusluvun arvot. Koska plastisuusluku on kuvassa 9 piirrettyjen juoksu- ja kieritysrajojen erotus, voidaan juoksu- ja kieritysrajojen kuvaajista päätellä paljon kuvan 10 histogrammien muodoista. Laihalla savella juoksu- ja kieritysrajat ovat keskittyneet pienimmälle alueelle, joten myös plastisuusrajan kuvaaja on selvästi jyrkempi.



Kuva 10. Laihan ja lihavan saven sekä savisen siltin plastisuusluvun jakautuminen.

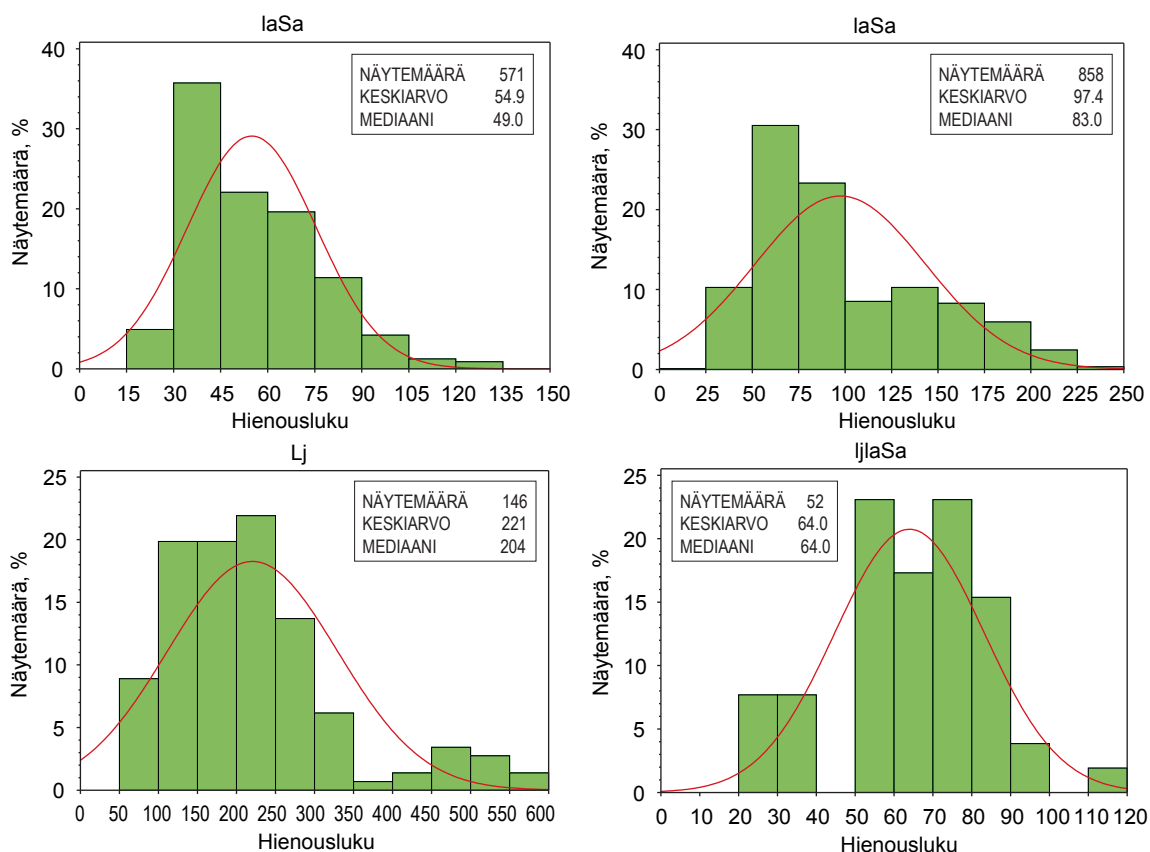
## Hienousluku

Kartiokokeella voidaan määrittää laboratoriossa hienorakeisten maalajien hienousluku, sensitiivisyys ja suljettu leikkauslujuus. Hienousluvulla tarkoitetaan vesipitoisuutta, jossa kartio, massaltaan 60 g, ja kärkikulmaltaan 60° painuu 10 mm rakenteeltaan täysin häirittyyn näytteeseen. Hienousluku on likimain sama kuin Casagranden koputuskojeella saatava juoksuraja. (Suomen geoteknillinen yhdistys 1985) Hienousluku on saatu määritettyä vesipitoisuuden perusteella seuraavasta kaavasta:

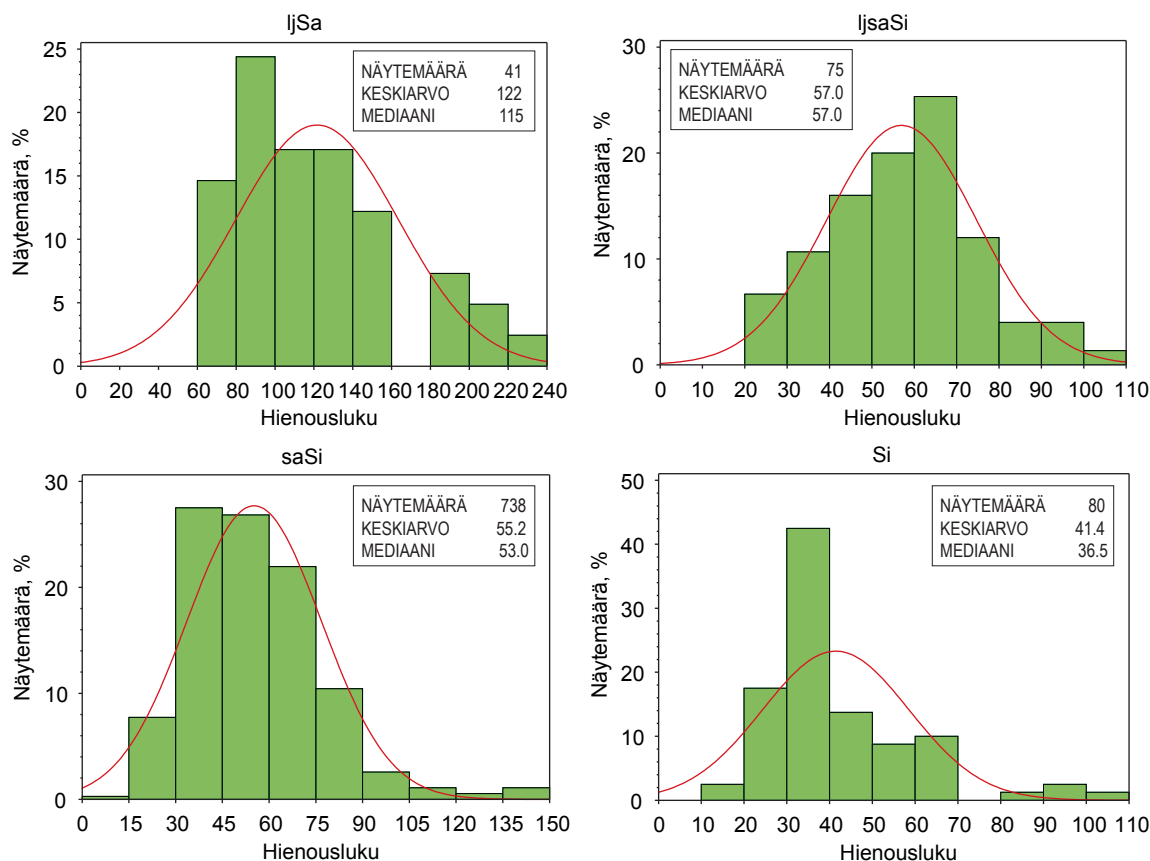
$$F = \frac{10 \cdot w}{a} \quad (8)$$

jossa  
 w on luonnollinen vesipitoisuus (%) ja  
 a vertausluku, joka määritetään kartiokokeen avulla täydellisesti vaivatusta näytteestä lujuusluvun  $H_1$  perusteella.

Hienousluku tarkoittaa maan vesipitoisuutta sellaisessa tilassa, jossa  $H_1$ :n arvo on 10. Hienousluvun keskiarvo, mediaaniarvo, ja jakautuminen eri maalajeilla nähdään kuvasta 11.



Kuva 11. Hienousluvun jakautuminen maalajeittain (jatkuu seuraavalla sivulla).



Kuva II. Hienousluvun jakautuminen maalajeittain.

#### 4.10

### Suljettu leikkauslujuus

Suljettu leikkauslujuus voidaan määrittää luonnontilaisista hienorakeisista maakerroksista laboratoriokokeilla tai maastossa siipikairauksilla. Kartiokokeen käyttö laboratoriossa suljetun leikkauslujuuden määrittämisessä perustuu konsistenssin ja leikkauslujuuden väliseen riippuvaisuuteen. Kartion painumasta pystytään kaavojen tai taulukoiden avulla laskemaan suljettu leikkauslujuus. Huonosti vettä läpäisevä maakerros murtuu suljetussa tilassa, kun sitä kuormitetaan murtumiseen asti niin nopeasti, että vesipitoisuus murtopinnalla ei ehdi muuttua. Tällöin leikkauslujuus muodostuu pelkästään koheesiosta. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 1985)

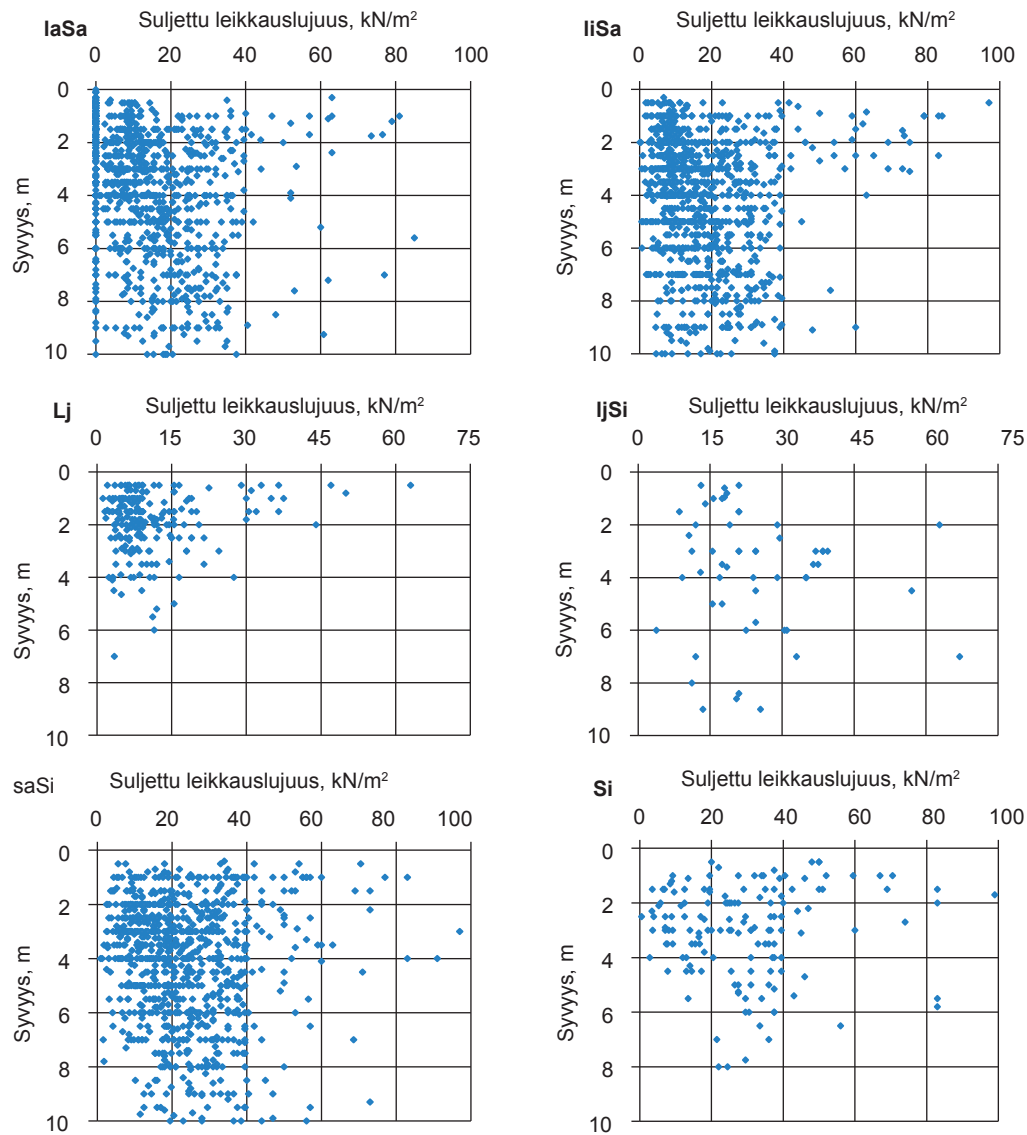
Siipikairalla määritetään koheesio- ja silttimaalajien suljettu leikkauslujuus suoraan maaperässä. Siipikairan toiminta perustuu siihen, että kun kairan alapäässä olevaa siipeä kierretään halutussa syvyydessä, muodostuu sylinterimäinen murtopinta, kun siipien välissä oleva lieriön muotoinen maamassa leikkautuu irti sitä ympäröivästä maasta. Mittaamalla siiven kiertämiseen tarvittava maksimivääntömomentti saadaan selville sylinteripinnassa leikkautumishetkellä vallinnut maan leikkauslujuus. (Isotalo ym. 1982) Kun maa oletetaan isotrooppiseksi, hienorakeisten maalajien suljettu leikkauslujuus voidaan laskea kaavalla:

$$\tau = \frac{6 \cdot M}{7 \cdot \pi \cdot D^3} \cdot \mu \quad (9)$$

jossa

$\tau$  on isotrooppisen, hienorakeisen maan suljettu leikkauslujuus,  
 $M$  murtohetkellä mitattu momentti,  
 $D$  siiven halkaisija ja  
 $\mu$  laitevakio.

Maaperän lujuusominaisuuksia ei ole määritetty aineiston näytteistä yhtä laajasti kuin luokitusominaisuuksia. Suljettua leikkauslujuutta on useilta hienorakeisilta maalajeilta tutkittu laboratoriossa kartiokokeen avulla. Kuvassa 12 on esitetty kartiokokeella määritettyjä maalajien suljettu leikkauslujuus laihalla ja lihavalla savella, siltillä, liejulla sekä liejuisella ja savisella siltillä.

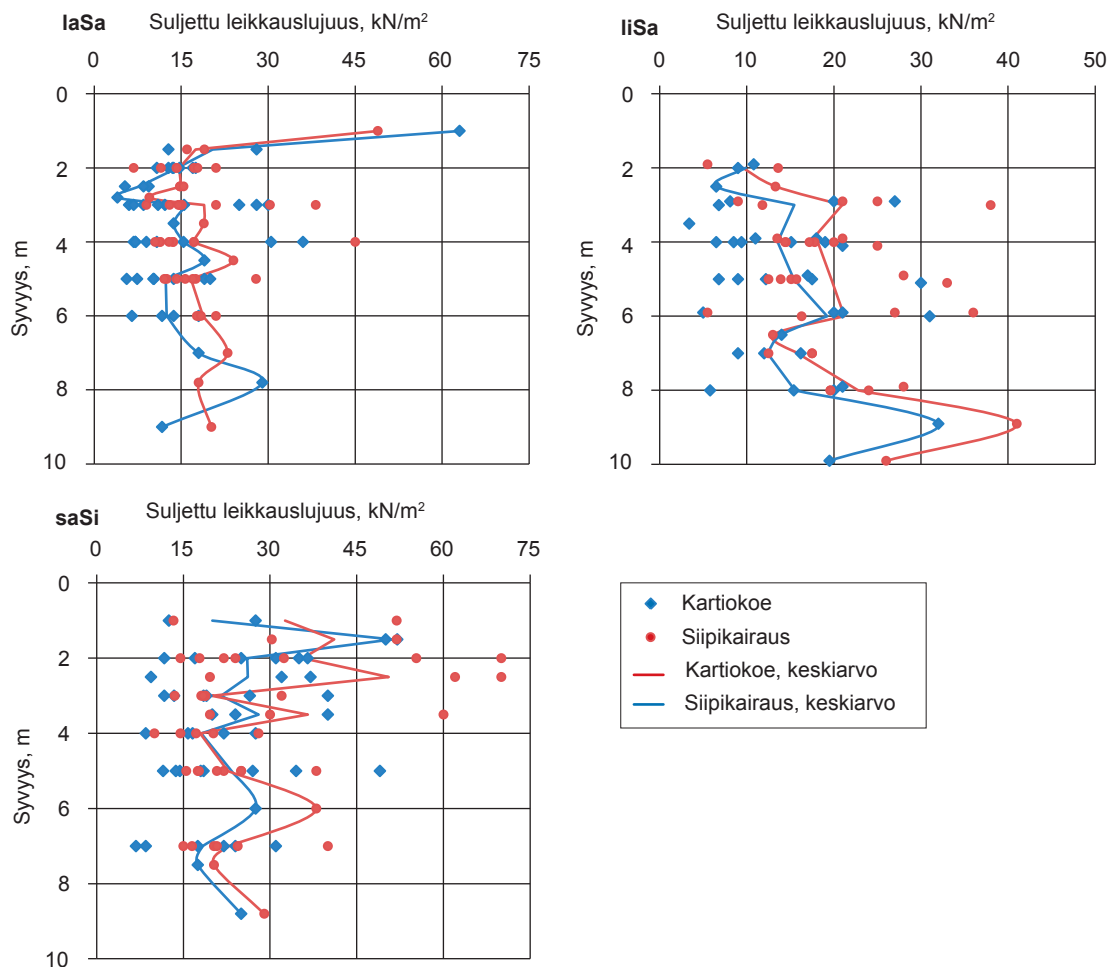


Kuva 12. Kartiokokeella määritetty suljettu leikkauslujuus maalajeittain.

Kartiokokeella määritettyjen suljetun leikkauslujuuden tulosten mukaan leikkauslujuus vaihtelee hyvin paljon eri tutkimuspisteiden välillä syvyydestä riippumatta. Kuvassa 12 esitetyillä maalajeilla suljettu leikkauslujuus vaihtelee pääasiassa 0-40 kN/m<sup>2</sup> välillä näytteenottosyvyydestä juuri riippumatta. Tämä tarkoittaa maakerrosten olevan enimmäkseen hyvin pehmeitä, pehmeitä tai sitkeitä. Liejun suljettu leikkauslujuus on enimmäkseen alle 20 kN/m<sup>2</sup>, mutta silti- ja savimaalajeilla on suljetun leikkauslujuuden arvoksi määritetty yksittäisistä näytteistä myös yli 50 kN/m<sup>2</sup>, jolloin kyseessä on kova maakerros.

Siipikairaustuloksia on käsittelyä varten riittävä määrä vain laihasta ja lihavasta savesta sekä savisesta siltistä. Näistä maalajeista on esitetty kuvassa 13 kuvaajat kartiokokeella ja siipikairalla määritetyistä leikkauslujuuden arvoista. Samoihin kuvaajiin on piirretty kartiokokeen ja siipikairauksen tulosten keskiarvot eri syvyyksillä 0,5 metrin välein. Kuvaan on otettu mukaan vain näytteet, joista on määritetty leikkauslujuus sekä kartiokokeella että siipikairalla.

Kuvan 13 kuvaajista nähdään, että suljettu leikkauslujuus vaihtelee paljon mitauspisteiden välillä. Myös samasta näytteestä eri menetelmillä määritettyjen leikkauslujuuksien välillä on jonkin verran eroa. Siipikairalla määritetyt leikkauslujuudet ovat keskimäärin noin 5-10 kPa suurempia kuin kartiokokeella määritetyt leikkauslujuudet. Suomen Rakennusinsinöörien Liiton (1985) mukaan siipikairalla mitatut arvot ovat todellista leikkauslujuutta suurempia, jos maa on humuspitoista, erittäin plastista tai ylikonsolidoitunutta.



Kuva 13. Laihan ja lihavän saven sekä savisen siltin suljettu leikkauslujuus kartiokokeella ja siipikairauksella määritettynä.

## Sensitiivisyys

Sensitiivisyys eli häiriintymisherkkyys tarkoittaa luonnontilaisen maakerroksen suljetun leikkauslujuuden ja saman mutta rakenteeltaan täysin häirityn maakerroksen suljetun leikkauslujuuden suhdetta. Leikkauslujuus voidaan määrittää laboratoriossa kartiokokeella tai maastossa siipikairalla. Sensitiivisyys kaavalla ilmaistuna on (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto 1985):

$$S_t = \frac{s_u}{s_r} \quad (10)$$

jossa

$S_t$  on sensitiivisyys

$s_u$  luonnontilaisen maakerroksen suljettu leikkauslujuus ja

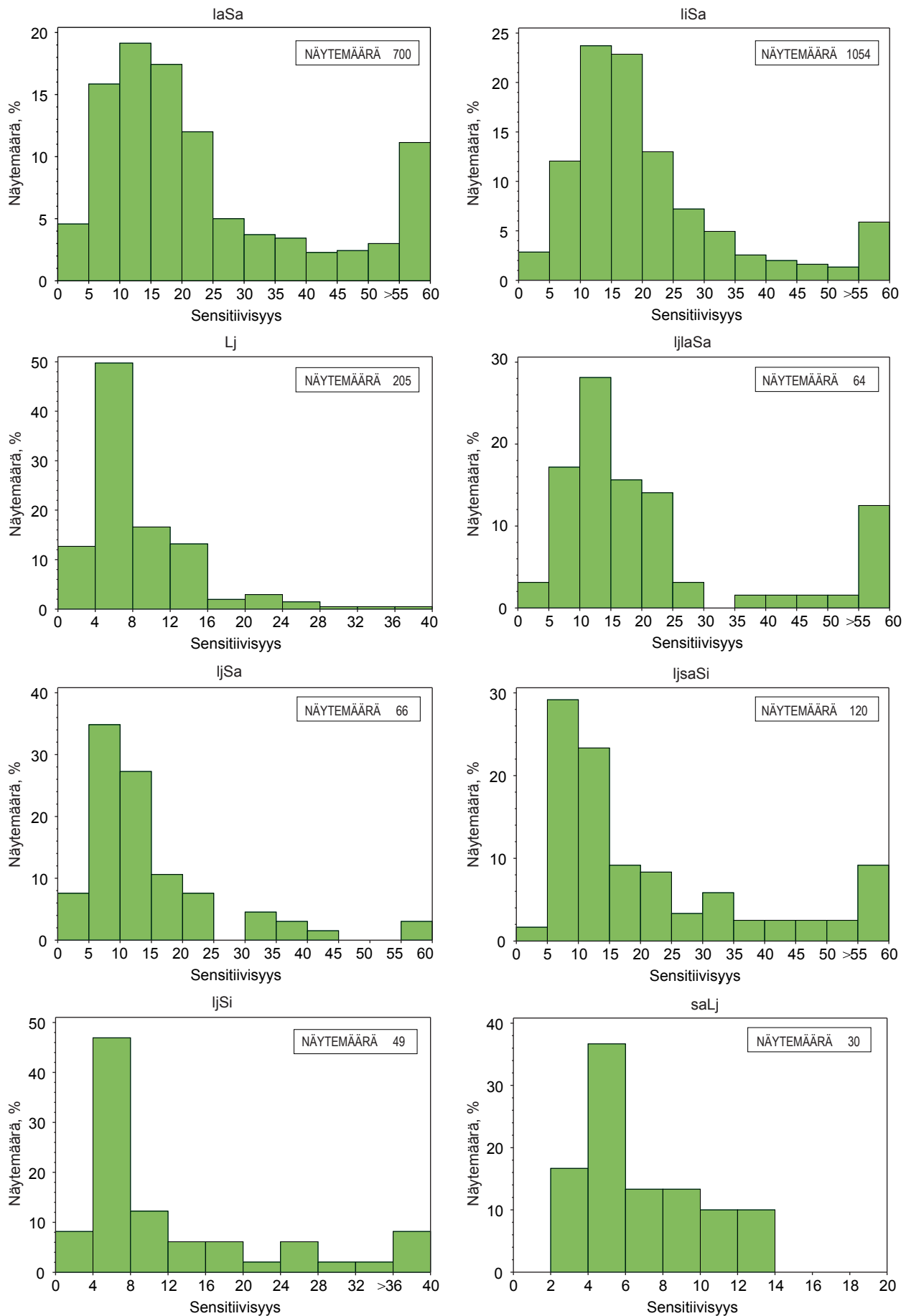
$s_r$  rakenteeltaan täydellisesti häirityn maakerroksen suljettu leikkauslujuus.

Maan sensitiivisyydestä käytetään seuraavia nimityksiä: vähän sensitiivinen ( $S_t \leq 10$ ), kohtalaisen sensitiivinen ( $10 < S_t \leq 30$ ) ja hyvin sensitiivinen ( $S_t > 30$ ) (Korhonen ym. 1974). Hyvin sensitiivisen maalajin käsittely ja kuljetus on hankalaa, joten maan häiriintymisherkkyuden tunteminen on tarpeen mm. maarakennustehtävissä.

Kuvassa 14 on esitetty aineiston kartiokokeella määritetyn sensitiivisyyden tulokset. Useimmilla maalajeilla sensitiivisyyden vaihteluväli oli hyvin laaja, vaikka suurimmassa osassa tuloksista sensitiivisyys oli alle 20. Luettavuuden parantamiseksi tällaisiin histogrammeihin on tiettyä arvoa suuremmat tulokset merkitty yhteen pylvääseen. Sensitiivisyyden mediaanit, keskiarvot ja suurimmat arvot on esitetty taulukossa 11.

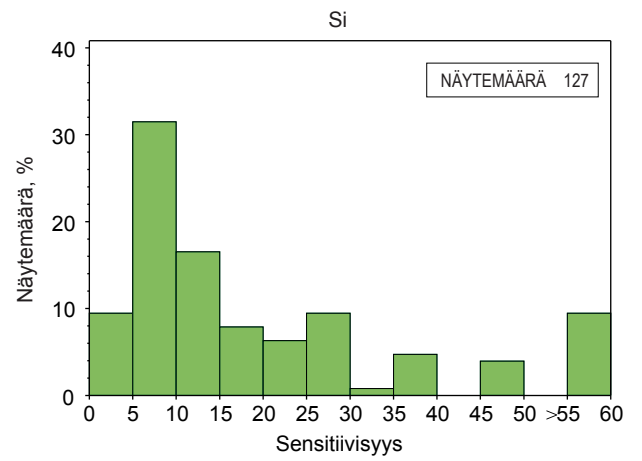
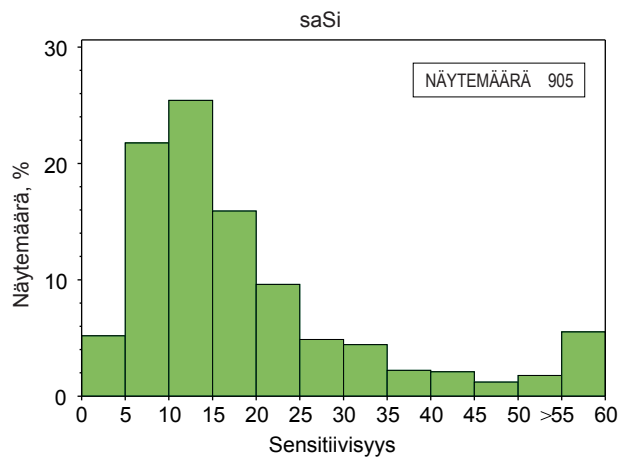
Taulukko 11. Hienorakeisten maalajien sensitiivisyyden mediaani ja keskiarvo.

Maalaji	Näytämäärä	Mediaani	Keskiarvo	Maksimiarvo
laSa	700	18	27,88	290
liSa	1054	17	23,05	195
Lj	205	6	8,17	37
ljlaSa	64	16	30,66	250
ljSa	66	10	14,2	59
ljsaSi	120	13,5	23,02	150
ljSi	49	7	18,87	131
saLj	30	5	7,00	12
saSi	905	14	21,37	275
Si	127	12,5	25,55	180



Kuva 14. Sensitiivisyyden jakautuminen maalaajeittain (jatkuu seuraavalla sivulla).





Kuva 14. Sensitiivisyyden jakautuminen maalajeittain.



## 5 Ominaisuuksien keskinäinen riippuvuus

Useat maalajien ominaisuudet ovat selvästi riippuvaisia maalajin rakenteesta ja toisista ominaisuuksista. Joistakin maalajien ominaisuuksista voidaan myös arvioida muita ominaisuuksia. Varsinkin hienorakeisten maalajien ominaisuuksien riippuvuutta muista ominaisuuksista on pyritty selvittämään useissa aikaisemmissa tutkimuksissa (Pylkkänen 1973, Mäkinen 1974, Gardemeister 1975). Pylkkänen (1973) on tutkinut hienorakeisten maalajien kokoonpuristusominaisuuksien riippuvuutta indeksiominaisuuksista. Ominaisuuksia voidaan myös selvittää erilaisia matemaattisia yhtälöitä soveltamalla, kun tiedetään joitain muita ominaisuuksia (Mäkinen 1974).

Tässä kappaleessa on taulukoiden ja kuvaajien avulla tutkittu tarkemmin tiettyjen ominaisuuksien korreloimista toisten ominaisuuksien kanssa. Hienorakeisista maalajeista on selvitetty savi- ja vesipitoisuuden sekä hienousluvun riippuvuutta humuspitoisuuden, tilavuuspainon, juoksurajan ja plastisuusluvun kanssa. Karkearakeisilta maalajeilta ja moreeneilta on tutkittu vesipitoisuuden ja humuspitoisuuden sekä tilavuuspainon riippuvuutta. Taulukoissa esitettäväksi on valittu maalajeja, jotka edustavat hyvin aineistoa. Kuten ominaisuuksien esittämisessä kappaleessa 4, myös riippuvuuksien tutkimisessa on huomioitu vain maalajit, joista on määritetty tarkasteltavat ominaisuudet vähintään 30 näytteestä. Korrelaatiokerroin on ilmoitettu vain niistä riippuvuussuhteista, joissa molemmat ominaisuudet on määritetty vähintään 30 näytteestä.

Ominaisuuksien keskinäistä riippuvuutta on kuvattu seuraavassa yleisimmän korrelaatiokertoimen eli Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokertoimen avulla. Korrelaatiokerroin kertoo ominaisuuksien lineaarisen korrelaation ja se vaihtelee välillä [-1, 1]. Korrelaatiokerroin määritetään kaavalla:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot \sum (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (11)$$

jossa

r	on	korrelaatiokerroin
x		muuttuja x ja
y		muuttuja y.

Positiivinen kerroin kertoo positiivisesta lineaarisesta korrelaatiosta ja negatiivinen luku negatiivisesta lineaarisesta korrelaatiosta. Eri tapausten korrelaatiokerroin voi olla sama, vaikka tapaukset olisivat jakautuneet hyvin eri tavalla. Epälineaarista riippuvuutta korrelaatiokerroin ei havaitse. Taulukoissa 11-14 on käytetty seuraavanlaista luokittelua korrelaatiokertoimelle r:

- |                               |               |
|-------------------------------|---------------|
| – vahva korrelaatio           | r > 0,85      |
| – selvä korrelaatio           | r 0,70 – 0,85 |
| – keskinkertainen korrelaatio | r 0,50 – 0,70 |
| – heikko korrelaatio          | r 0,30 – 0,50 |
| – ei korreloi                 | r 0 – 0,30    |

Korrelaation tilastollinen merkitsevyys voidaan tutkia testisuureella  $t$ , joka on jakautunut vapausastein  $(n-2)$ .

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (12)$$

jossa

$t$  on testisuure  
 $r$  korrelaatiokerroin ja  
 $n$  havaintoparien lukumäärä.

Testisuureen perusteella saadaan  $p$ -arvo, joka kertoo merkitsevyyden eli millä todennäköisyydellä nollahypoteesi hylätään. Korrelaatiokertoimen tilastollinen merkitsevyystaso on ilmoitettu taulukoissa 11-14 seuraavasti:

***	erittäin merkitsevä	$p < 0,001$
**	merkitsevä	$p < 0,01$
*	melkein merkitsevä	$p < 0,05$
-	ei merkitsevä	$p \geq 0,05$

## 5.1

### Savipitoisuus

Savi antaa aineelle omat piirteensä aineelle jo silloin, kun 30 % aineesta on savilajitteen alueella. Seuraavassa on tutkittu, vaikuttaako savipitoisuus suoraan maalajien ominaisuuksiin käytetyn aineiston maanäytteissä. Taulukosta 12 nähdään savipitoisuuden riippuvuus humuspitoisuuden, vesipitoisuuden, tilavuuspainon, juoksurajan ja plastisuusluvun kanssa. Maalajeiksi tarkasteluun on valittu hienorakeisia maalajeja, jotka kuvaavat hyvin käytettyä aineistoa.

Taulukko 12. Korrelaatiokertoimet savipitoisuuden riippuvuudesta eri ominaisuuksien kanssa.

Maalaji	Humuspitoisuus	Vesipitoisuus	Tilavuuspaino	Juoksuraja	Plastisuusluku
laSa	-0,00 <sup>-</sup>	0,12 <sup>***</sup>	-0,11 <sup>**</sup>	-0,11 <sup>-</sup>	-0,03 <sup>-</sup>
liSa	0,11 <sup>*</sup>	0,51 <sup>***</sup>	-0,52 <sup>***</sup>	0,53 <sup>***</sup>	0,53 <sup>***</sup>
Lj	0,51 <sup>-</sup>	0,61 <sup>-</sup>	-0,75 <sup>***</sup>	—	—
ljSi	-0,34 <sup>*</sup>	0,28 <sup>*</sup>	-0,48 <sup>*</sup>	—	—
saSi	0,03 <sup>-</sup>	0,20 <sup>***</sup>	-0,22 <sup>***</sup>	0,18 <sup>*</sup>	0,21 <sup>**</sup>
Si	0,12 <sup>-</sup>	-0,16 <sup>-</sup>	0,24 <sup>*</sup>	—	—
siLj	0,00 <sup>-</sup>	0,55 <sup>***</sup>	-0,33 <sup>-</sup>	—	—

Korrelaatiokertoimen merkitsevyys: \*\*\* erittäin merkitsevä, \*\* merkitsevä, \* melkein merkitsevä, - ei merkitsevä

Taulukosta 12 voidaan havaita, ettei savipitoisuus korreloi selvästi juuri minkään tarkastellun ominaisuuden kanssa. Vesi- ja savipitoisuus korreloivat heikosti positiivisesti, kun taas tilavuuspaino näyttää korreloivan savipitoisuuden kanssa negatiivisesti. Lihavalla savella on suurin korrelaatiokerroin tilavuuspainon, juoksurajan ja plastisuusluvun riippuvuudessa. Tästä voidaan päätellä, että vasta suuri savipitoisuus vaikuttaa kunnolla tarkasteltuihin ominaisuuksiin. Liejun savipitoisuuden korrelaatiokerroin humus- ja vesipitoisuuden kanssa ei ole tilastollisesti merkitsevä, koska näytteiden savipitoisuutta ei ole ilmoitettu kuin joistakin näytteistä.

## Vesipitoisuus

Maaperän vesipitoisuus vaikuttaa suoraan sen moniin ominaisuuksiin. Samoin myös maaperän rakenne vaikuttaa vesipitoisuuteen. Humuspitoisuuden kasvaessa maalajien luonnollinen vesipitoisuus kasvaa, jolloin leikkauslujuus ja vedenläpäisevyys pienenevät. Taulukossa 13 on tutkittu humuspitoisuuden lisäksi tilavuuspainon, hienousluvun, juoksurajan ja plastisuusluvun riippuvuutta vesipitoisuuden kanssa.

Vesipitoisuuden korrelaatiota savipitoisuuden, tilavuuspainon ja humuspitoisuuden kanssa voidaan tutkia myös karkearakeisilta maalajeilta ja moreeneilta. Näiden savipitoisuudet ovat alle 10 %, lukuunottamatta savista hiekkamoreenia, jonka savipitoisuus vaihtelee 10-30 % välillä. Myös humuspitoisuudet ovat moreeneilla ja karkearakeisilla maalajeilla alhaisia, enimmäkseen alle 10 %. Taulukkoon 14 on kerätty joitakin moreenien ja karkearakeisten maalajien korrelaatiokertoimia näiden riippuvuuksien selvittämiseksi. Taulukoissa 13 ja 14 selvä korrelaatio ( $r > 0,70$ ) on esitetty punaisella värillä.

Taulukko 13. Korrelaatiokertoimet vesipitoisuuden riippuvuudesta eri ominaisuuksien kanssa.

Maalaji	Humuspitoisuus	Tilavuuspaino	Hienousluku	Juoksuraja	Plastisuusluku
laSa	0,59***	-0,84***	0,48***	0,69***	0,60***
liSa	0,41***	-0,88***	0,56***	0,60***	0,54***
Lj	0,49***	-0,75***	0,75***		
ljSi	0,36***	-0,76***			
saSi	0,58***	-0,88***	0,73***	0,75***	0,72***
Si	0,43	-0,83***	0,61***		
siLj	-0,02	-0,72***			

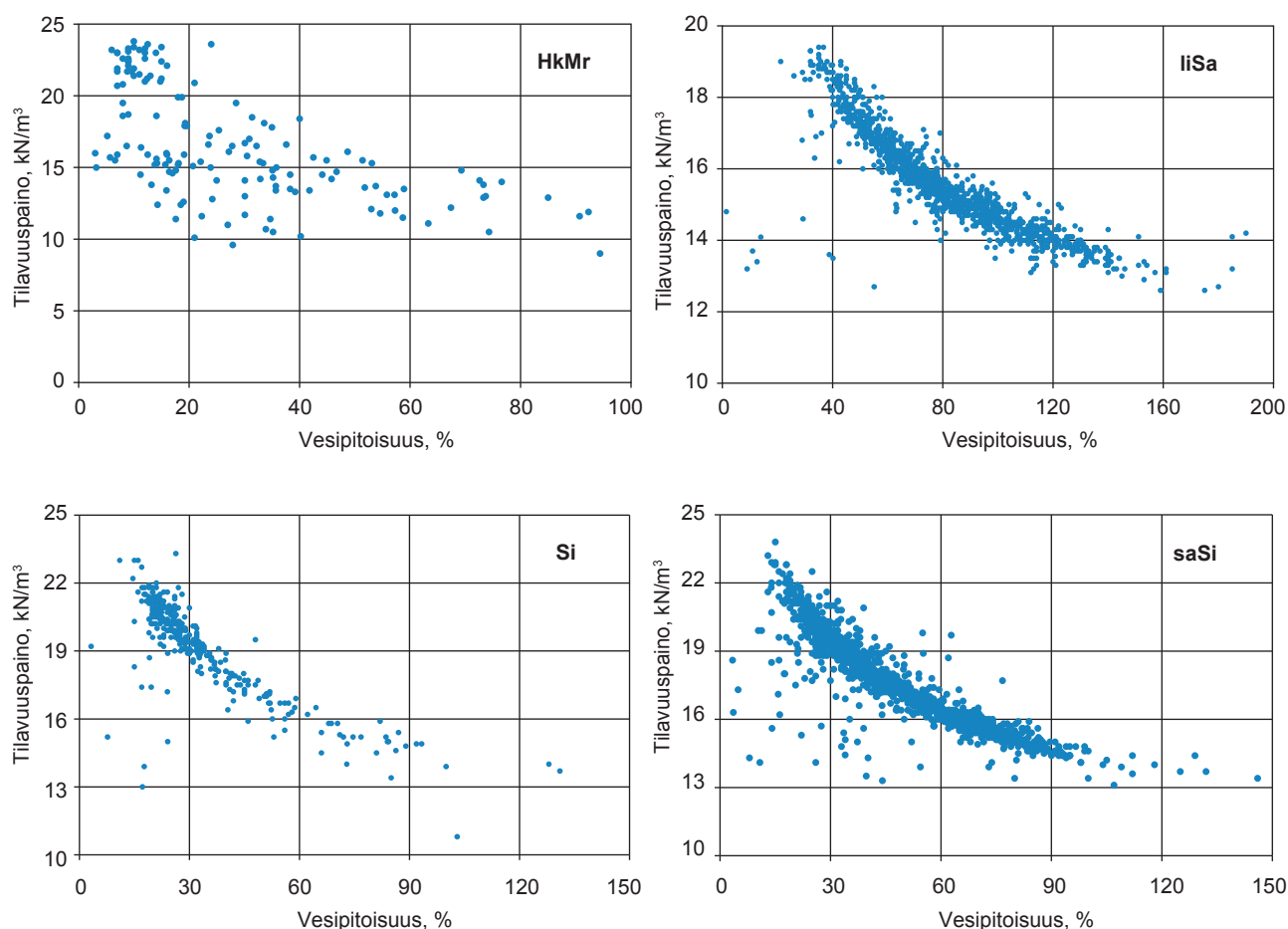
Korrelaatiokertoimen merkitsevyys: \*\*\* erittäin merkitsevä, \*\* merkitsevä, \* melkein merkitsevä, - ei merkitsevä

Taulukko 14. Korrelaatiokertoimet moreenien ja karkearakeisten maalajien vesipitoisuuden riippuvuudesta eri ominaisuuksien kanssa.

Maalaji	Savipitoisuus	Humuspitoisuus	Tilavuuspaino
Hk	0,16*	0,31***	-0,24***
HkMr	0,01	0,25*	-0,62***
huHk	0,20	0,29*	0,37*
saHkMr	0,27***	0,17	-0,87***
siHk	0,01	0,61***	-0,57***
siHkMr	-0,06	0,41**	-0,70***

Korrelaatiokertoimen merkitsevyys: \*\*\* erittäin merkitsevä, \*\* merkitsevä, \* melkein merkitsevä, - ei merkitsevä

Taulukoista 13 ja 14 nähdään, että humuspitoisuuden kasvu lisää vesipitoisuutta, jonka kasvu puolestaan laskee tilavuuspainoa. Vesipitoisuuden kasvu myös nostaa hienouslukua, juoksurajaa ja plastisuuslukua. Kaikilla taulukoissa 13 ja 14 tarkastelluilla maalajeilla kaikilla humuksista hiekkaa lukuunottamatta vesipitoisuuden ja tilavuuspainon välinen korrelaatiokerroin on negatiivinen. Useimmilla tarkastelluilla maalajeilla korrelaatio on keskinertainen tai selvä. Kuvassa 15 on esitetty kuvaajat hiekkamoreenin, liHAVAN saven, siltin ja savisen siltin vesipitoisuuden ja tilavuuspainon keskinäisestä riippuvuudesta. Hiekkamoreenilla nämä ominaisuudet korreloivat keskinertaisesti. Muilla kuvan 15 maalajeilla korrelaatio on selvä ja myös selkeästi havaittavissa kuvaajista. Vaikuttaa siltä, että korrelaatio ei ole aivan lineaarinen, vaan kuvaajien pistejoukon muodostama kuvio kaartuu hieman.



Kuva 15. Vesipitoisuuden ja tilavuuspainon keskinäinen riippuvuus.

### 5.3

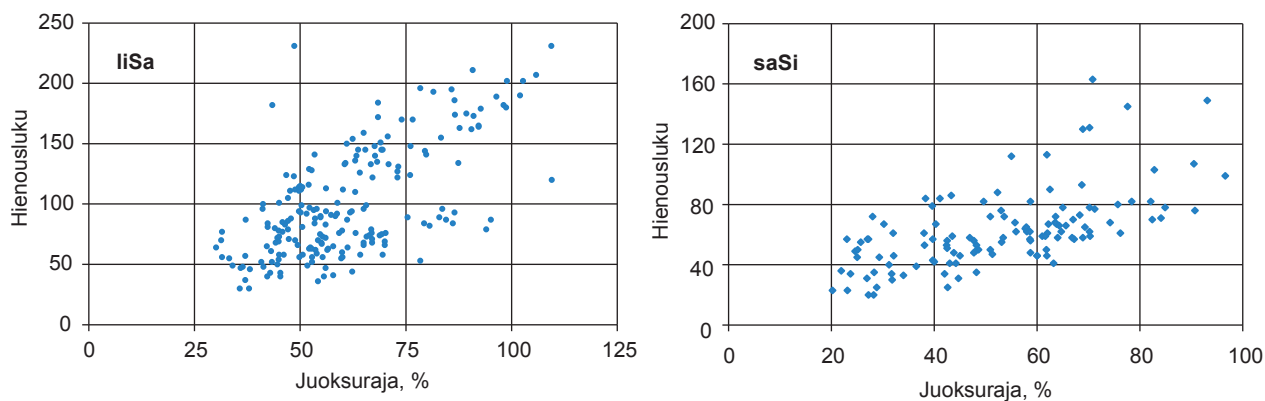
## Hienousluku

Seuraavassa on tutkittu hienousluvun korreloimista humuspitoisuuden, juoksurajan ja plastisuusluvun kanssa. On sanottu, että hienousluku on likimain sama kuin Casagranden koputuskojeella saatava juoksuraja (Suomen geoteknillinen yhdistys 1985). Tässä aineistossa niillä on kuitenkin selvästi jonkin verran eroa. Taulukossa 15 on esitetty hienousluvun korreloiminen eri ominaisuuksien kanssa. Kuvissa 16 ja 17 on esitetty laihan saven ja savisen siltin ominaisuuksien riippuvuussuhde kuvaajina. Taulukoissa 13 ja 15 tarkastelluilla maalajeilla juoksuraja ja plastisuusluku korreloivat selvästi tai vähintään keskinkertaisesti vesipitoisuuden ja hienousluvun kanssa.

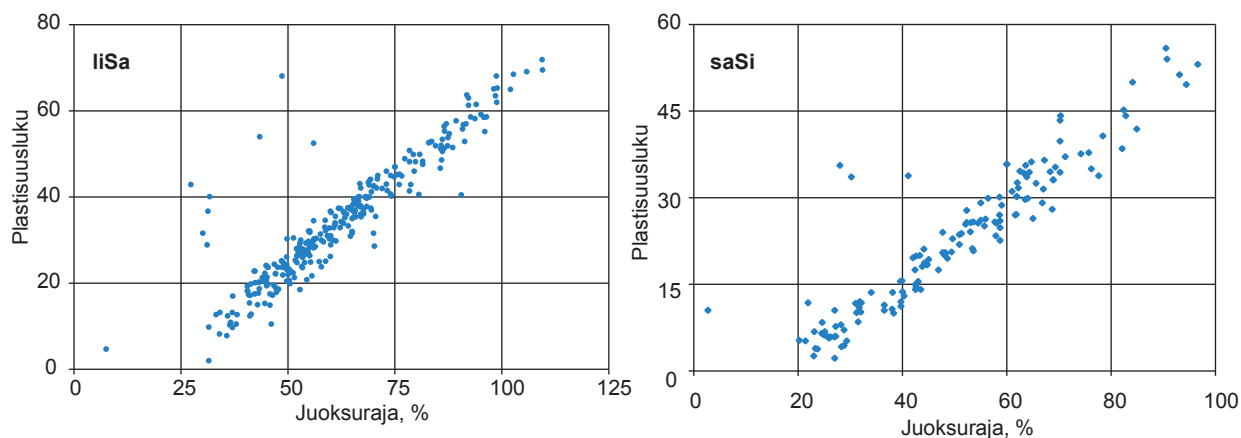
Taulukko 15. Korrelaatiokertoimet hienousluvun riippuvuudesta eri ominaisuuksien kanssa.

Maalaji	Humuspitoisuus	Juoksuraja	Plastisuusluku
laSa	0,53***	0,69***	0,76***
liSa	0,31***	0,67***	0,71***
Lj	0,76***	—	—
saSi	0,39***	0,67***	0,64***
Si	-0,34	—	—

Korrelaatiokertoimen merkitsevyys: \*\*\* erittäin merkitsevä, \*\* merkitsevä, \* melkein merkitsevä, - ei merkitsevä



Kuva 16. Laihan saven ja savisen siltin juoksurajan ja hienousluvun keskinäinen riippuvuus.



Kuva 17. Laihan saven ja savisen siltin juoksurajan ja plastisuusluvun keskinäinen riippuvuus.

Piirretyistä kuvaajista (kuvat 15, 16 ja 17) voidaan myös nähdä samoja asioita kuin edellisessä kappaleessa esitetyistä histogrammeista. Suurin osa arvoista sijoittuu pienelle alueelle, mutta kaikissa piirretyissä korrelaatiokuvaajissa on myös joitakin yksittäisiä arvoja kaukana keskimääräisistä arvoista.

Näiltä osin, kun maalajien ominaisuuksien riippuvuutta on tutkittu tässä kappaleessa, useimmat ominaisuudet eivät korreloi kovin selkeästi. Otoksen laajuuden kannalta edellä tutkitut riippuvuussuhteet ovat luotettavia. Toisaalta esitetyt korrelaatiot kuvaavat koko Suomen tilannetta yleisesti ja näytteitä on kerätty erilaisilta alueilta ja tutkittu eri vuosikymmeninä, jolloin vaihtelua tuloksiin saattavat tuoda sekä näytteiden keräämispaikkojen olosuhteet että käytetyt laboratoriomenetelmät.

## 6 Johtopäätökset

Tässä raportissa on esitetty maataloushallituksen ja myöhemmin vesi- ja ympäristöhallituksen toimesta on vuosien 1962-2001 aikana otettujen maaperänäytteiden laboratoriomääritysten tuloksia. Näytteet on kerätty kuivatus- ja pengerrystöiden yhteydessä eri puolilta Suomea. Alkuperäisestä, lähes 20 000 näytteen aineistosta on otettu tähän julkaisuun käsiteltäväksi 10 297 näytettä.

Maalajit on luokiteltu geoteknisen maalajiluokituksen mukaisesti ja julkaisussa on esitetty yhteensä 29 eri maalajin vesipitoisuus. Maalajeista, joista on ollut tarpeeksi näytteitä, on esitetty myös tilavuuspaino, tiheys, hienousluku, juoksu- ja kieritysraja, plastisuusluku, vedenläpäisevyys, sensitiivisyys ja suljettu leikkauslujuus. Ominaisuudet on määritetty laboratoriossa yleisesti käytössä olevilla menettelytavoilla. Vuosikymmenten aikana menetelmät ovat kuitenkin joiltain osin muuttuneet ja kehittyneet, joka on saattanut vaikuttaa tulosten tarkkuuteen.

Maaperänäytteiden laboratoriomääritysten tuloksista käsitellyt tulokset osoittavat, että näytteiden ominaisuuksien arvot edustavat hyvin Suomen maaperän ominaisuuksia, vaikka aineiston maalajeilla on useimmissa tarkastelluissa ominaisuuksissa laaja vaihteluväli. Tutkimuksessa on selvitetty myös, miten ominaisuudet korreloivat keskenään. Useat hienorakeisten maalajien ominaisuudet korreloivat maalajeilla selvästi tai keskin kertaisesti.

Aineiston laajuudesta johtuen tässä raportissa ei ole pystytty tutkimaan kuin osa aineiston määritetyistä ominaisuuksista ja niiden riippuvuuksista keskenään. Tässä tutkimuksessa on rajattu tarkastelemaan koko aineistoa kerrallaan maalajeittain. Tarkempia tuloksia aineistosta olisi mahdollista saada tutkimalla yksityiskohtaisemmin vain osaa aineistosta, esimerkiksi näytteitä vain yhdeltä paikkakunnalta tai tietyltä syvyydeltä.



## LÄHTEET

- Airaksinen, U.-L. & Korhonen, K.-H. 1961. Maalajien geoteknisistä ominaisuuksista. Maataloushallituksen insinööriosasto, maa- ja vesiteknillinen tutkimustoimisto. Tiedotus 5/1961. 14 s.
- Gardemeister, R. 1975. On engineering-geological properties of fine-grained sediments in Finland. Doctoral thesis. Technical Research Centre of Finland, Espoo. Building technology and community development, Publication 9. 91 s.
- Isotalo, T., Kuusiniemi, R., Loukola, E. & Rönkä, E. 1982. Maaperän rakenteesta ja maastotutkimusmenetelmistä. Vesihallitus, Helsinki. Tiedotus 219. 109 s.
- Jääskeläinen, R. 2009. Geotekniikan perusteet. Tammertekniikka, Jyväskylä. 332 s.
- Korhonen, K.-H., Gardemeister, R. & Tammirinne, M. 1974. Geotekninen maaluokitus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo. Geotekniikan laboratorio, Tiedonanto 14. 20 s.
- Mustonen, S. (toim.). 1986. Sovellettu hydrologia. Vesiyhdistys, Helsinki. 503 s.
- Mäkinen, M. 1974. Suomalaisten maalajien muodonmuutos- ja lujuusominaisuuksista. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo. Geotekniikan laboratorio, Tiedonanto 15. 70 s.
- Pylkkänen, J. 1973. Hienorakeisten maalajien painumisominaisuuksista. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo. Geotekniikan laboratorio, Tiedonanto 7. 44 s.
- Rantamäki, M., Jääskeläinen, R. & Tammirinne, M. 1982. Geotekniikka. Otakustantamo, Espoo. 293 s.
- Sauramo, M. 1940. Suomen luonnon kehitys jääkaudesta nykyaikaan. WSOY, Helsinki. 286 s.
- SFS-EN ISO 14688-1. 2007. Geotekninen tutkimus ja koestus. Osa 1: Maan ja kallion luokitukset. Geotechnical investigation and testing. Identification and classification of soil. Part 1: Identification and description. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 32 s.
- SFS-EN ISO 14688-2. 2007. Geotekninen tutkimus ja koestus. Maan tunnistaminen ja luokitus. Osa 2: Luokituksen perusteet. Geotechnical investigation and testing. Identification and classification of soil. Part 2: Principles for a classification. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 34 s.
- Suomen geoteknillinen yhdistys. 1985. GLO-85 Geotekniset laboratorio-ohjeet, 1. luokitusohjeet. Suomen geoteknillinen yhdistys ry. Rakentajain Kustannus, Helsinki. 107 s.
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. 1985. Geomekaniikka I. RIL 157-1. Helsinki. 479 s.
- Suomen standardisoimisliitto. 2008. Geotekninen tutkimus ja koestus. Osa 2: Maan laboratoriokokeet 2008. SFS-käsikirja 179-2. Helsinki. 216 s.
- Tie- ja vesirakennushallitus. 1970. Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita, osa II, laboratorio-tutkimukset. Valtion painatuskeskus, Helsinki. 153 s.
- Valkeisenmäki, A. 1973. Rakeisuuden vaikutus hiekan ja soran painumis- ja tiheysominaisuuksiin. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo. Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 10. 55 s.



## KUVAILULEHTI

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus (SYKE)			Julkaisu aika Tammikuu 2012
Tekijä(t)	Nanna Ronkainen			
Julkaisun nimi	<b>Suomen maalajien ominaisuuksia</b>			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 2/2012			
Julkaisun teema	Luonto			
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut				
Tiivistelmä	<p>Tässä raportissa esitetään vuosien 1962-2001 aikana maataloushallituksessa, vesi- ja ympäristöhallituksessa ja nykyisessä Suomen ympäristökeskuksessa kerätyn laajan maaperänäyteaineiston laboratoriomääritysten tulokset. Raportin tavoitteena oli saada julkaistavaan muotoon ja yleishyödylliseen käyttöön tuo pitkälti aikaväliltä oleva laaja aineisto, jota ei ole aikaisemmin julkaistu.</p> <p>Ympäri Suomea kerätty näytteet on otettu maasta 0-60 m syvyydeltä enimmäkseen maaperätutkimusten tai kuivatus- ja pengerrystöiden yhteydessä. Alkuperäisestä, lähes 20 000 näytteen aineistosta on otettu tähän julkaisuun mukaan 10 297 näytettä. Geoteknisen maalajiluokituksen mukaan luokiteltuna julkaisussa käsitellään yhteensä 29 maalajia, joka sisältää sekä eloperäisiä, hieno- ja karkearakeisia että moreenimaalajeja.</p> <p>Julkaisussa esitetään eri maalajien tilavuuspainon, tiheyden, hienousluvun, juoksu- ja kieritysrajan, plastisuusluvun, sensitiivisyyden ja vesipitoisuuden jakautuminen, keskiarvo ja mediaani. Vedenläpäisevyydestä ja leikkauslujuudesta on tutkittu maalajien jakautumista. Lisäksi selvitetään, miten eri ominaisuudet korreloivat keskenään. Maaperänäytteiden laboratoriomääritysten tuloksista käsitellyt tulokset osoittavat, että näytteiden ominaisuuksien arvot edustavat hyvin Suomen maaperän ominaisuuksia.</p>			
Asiasanat	geotekniikka, maaperä, maalajit, hiekka, hiesu, hieta, lieju, moreeni, savi, sora, turve			
Rahoittaja/ toimeksiantaja				
	ISBN	ISBN 978-952-11-3975-8 (PDF)	ISSN	ISSN 1796-1637 (verkkoi.)
	Sivuja 57	Kieli Suomi	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta (sis.alv 8 %)
Julkaisun myynti/ jakaja				
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE) PL 140, 00251 HELSINKI Puh. 020 610 123 Sähköposti: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a> , <a href="http://www.ymparisto.fi/syke">www.ymparisto.fi/syke</a>			
Painopaikka ja -aika				

## PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)			Datum Januari 2012
Författare	Nanna Ronkainen			
Publikationens titel	Suomen maalajien ominaisuuksia (Jordarternas egenskaper i Finland)			
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 2/2012			
Publikationens tema	Natur			
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt				
Sammandrag	<p>Den här rapporten presenterar resultat av laboratorieanalyser av en omfattande samling jordartsprover som samlades in under perioden 1962–2001 av lantbruksstyrelsen, vatten- och miljöstyrelsen och nuvarande Finlands miljöcentral. Rapportens mål var att presentera det omfattande materialet i läsbar form så att det kan komma till allmännyttig användning. Materialet har samlats in under lång tid men aldrig tidigare publicerats.</p> <p>Markproverna som har samlats in på olika håll i Finland har tagits på 0–60 meters djup, främst i samband med markundersökningar eller torrlägnings- och invallningsarbete. Det ursprungliga materialet bestod av nästan 20 000 prover. Av dessa har 10 297 st inkluderats i den här rapporten. I rapporten behandlas sammanlagt 29 jordarter enligt den geotekniska klassificeringen av jordarter. I dessa ingår organiska, fin- och grovkorniga jordarter samt moränjordarter.</p> <p>Rapporten presenterar olika jordarters volymvikt, densitet, finhetsgrad, flytgräns och utrullningsgräns, plasticitetstal, spridning i sensitivitet och vattenhalt, medeltal och median. Fördelningen av jordarterna har undersökts utgående från vattengenomträngligheten och skjuvhållfastheten. Dessutom förklaras hur olika egenskaper korrelerar sinsemellan. Resultaten av laboratorieanalyserna av jordartsproverna visar att egenskapsvärdena i proverna i hög grad representerar egenskaperna hos jordmånen i Finland.</p>			
Nyckelord	geoteknik, jordmån, jordarter, sand, mjäla, mo, dy, morän, lera, grus, torv			
Finansiär/ uppdragsgivare				
	ISBN	ISBN 978-952-11-3975-8 (PDF)	ISSN	ISSN 1796-1637 (online)
	Sidantal 57	Språk finska	Offentlighet Offentlig	Pris (inneh. moms 8 %)
Beställningar/ distribution				
Förläggare	Finlands miljöcentral (SYKE) PB 140, 00251 Helsingfors Tfn. +358 20 610 123 Epost: neuvonta.syke@ymparisto.fi, www.miljo.fi/syke			
Tryckeri/tryckningsort och -år				

## DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Finnish Environment Institute (SYKE)			<i>Date</i> January 2012
<i>Author(s)</i>	Nanna Ronkainen			
<i>Title of publication</i>	<b>Suomen maalajien ominaisuuksia</b> (Properties of Finnish soil types)			
<i>Publication series and number</i>	The Finnish Environment 2/2012			
<i>Theme of publication</i>	Nature			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>				
<i>Abstract</i>	<p>This report presents the results of the laboratory determinations of comprehensive soil samples collected by the National Board of Agriculture, the National Board of Waters and the Environment, and the current Finnish Environment Institute between 1962 and 2001. The purpose of the report was to turn this previously unpublished material into a publishable format and make it publicly available.</p> <p>The samples were collected from all over Finland from a depth of 0–60 m, mostly in connection with soil studies or drainage and embankment work. Of the original material, which contained almost 20,000 samples, 10,297 samples were included in this publication. Classified in accordance with the national soil classification system, the publication deals with a total of 29 soil types, including organic soils, fine and coarse-grained soils and glacial tills.</p> <p>The publication presents the distributions, means and medians of the specific weight, density, remoulding index, liquid and plastic limit, plasticity index, sensitivity and water content of the soils. The distribution of soil types was studied on the basis of water permeability and shear strength. The report also examines how the various properties correlate with one another. The conclusions reached from the results of the laboratory determinations of the soil samples showed that the values of the sample properties represent the properties of the Finnish soil types well.</p>			
<i>Keywords</i>	geotechnical engineering, soil, soil types, sand, silt, fine sand, gyttja, till (moraine), clay, gravel, peat			
<i>Financier/ commissioner</i>				
	ISBN	ISBN 978-952-11-3975-8 (PDF)	ISSN	ISSN 1796-1637 (online)
	No. of pages 57	Language Finnish	Restrictions Public	Price (incl. tax 8 %)
<i>For sale at/ distributor</i>				
<i>Financier of publication</i>	Finnish Environment Institute (SYKE) P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland Tel. +358 20 610 123, fax +358 20 490 2190 Email: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a> , <a href="http://www.environment.fi/syke">www.environment.fi/syke</a>			
<i>Printing place and year</i>				





Tässä raportissa esitetään vuosien 1962-2001 aikana maataloushallituksessa, vesi- ja ympäristöhallituksessa ja nykyisessä Suomen ympäristökeskuksessa kerätyn laajan maaperänäyteaineiston laboratoriomääritysten tulokset. Raportin tavoitteena oli saada julkaistavaan muotoon ja yleishyödylliseen käyttöön tuo pitkältä aikaväliltä oleva laaja aineisto, jota ei ole aikaisemmin julkaistu.

Ympäri Suomea kerätyt näytteet on otettu maasta 0-60 m syvyydeltä enimmäkseen maaperätutkimusten tai kuivatus- ja pengerrystöiden yhteydessä. Alkuperäisestä, lähes 20 000 näytteen aineistosta on otettu tähän julkaisuun mukaan 10 297 näytettä. Geoteknisen maalajiluokituksen mukaan luokiteltuna julkaisussa käsitellään yhteensä 29 maalajia, joka sisältää sekä eloperäisiä, hieno- ja karkearakeisia että moreenimaalajeja.

Julkaisussa esitetään eri maalajien tilavuuspainon, tiheyden, hienousluvun, juoksu- ja kieritysrajan, plastisuusluvun, sensitiivisyyden ja vesipitoisuuden jakautuminen, keskiarvo ja mediaani. Vedenläpäisevyydestä ja leikkauslujuudesta on tutkittu maalajien jakautumista. Lisäksi selvitetään, miten eri ominaisuudet korreloivat keskenään. Maaperänäytteiden laboratoriomääritysten tuloksista käsitellyt tulokset osoittavat, että näytteiden ominaisuuksien arvot edustavat hyvin Suomen maaperän ominaisuuksia.

